



TUGAS AKHIR - MO141326

ANALISA RESIKO DAN NILAI EKONOMIS PADA PENGELASAN KOMBINASI PIPA API 5L X52

SALOMO P SIHOMBING

NRP. 4312100074

Dosen Pembimbing

Dr.Eng.Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Herman Pratikno, S.T., M.T.,Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016



FINAL PROJECT - MO141326

RISK AND ECONOMIC ANALYSIS FOR WELDING COMBINATION PIPE API 5L X52

SALOMO P SIHOMBING

NRP. 4312100074

Mentors

Dr.Eng.Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

Herman Pratikno, S.T., M.T.,Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2016

**ANALISIS RESIKO DAN NILAI EKONOMIS PADA PENGELASAN
KOMBINASI PIPA API 5L X52**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

SALOMO P SIHOMBING

NRP. 4312100074

Disetujui oleh :

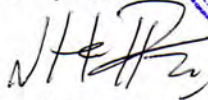
1. Dr. Eng Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc

(Pembimbing 1)



2. Herman Pratikno, S.T., M.T, Ph.D.

(Pembimbing 2)



3. Ir. Imam Rochani, M.Sc

(Penguji 1)



4. Silvianita, S.T, M.Sc, Ph.D.

(Penguji 2)



5. Darta Marina C, S.T., M.T

(Penguji 3)



SURABAYA, JULI 2016

ANALISA RESIKO DAN NILAI EKONOMIS PADA PENGELASAN KOMBINASI PIPA API 5L X52

Nama : Salomo P Sihombing
NRP : 4312100074
Jurusan : Teknik Kelautan - ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Eng.Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Herman Pratikno, S.T., M.T.,Ph.D.

ABSTRAK

Dalam dunia fabrikasi penggunaan teknologi pengelasan sering dijumpai di berbagai aplikasi pengelasan konstruksi, pengelasan perkapalan, rangka kendaraan (*chassis*), rel kereta api, pipa gas dan lain sebagainya. Pengelasan memiliki prosedur dan tahapan-tahapan yang harus dipenuhi sebelum melakukan proses penyambungan. Namun pada pelaksanaannya hasil dari pengelasan sering ditemukan adanya *welding defect*, maka dari itu dibutuhkan evaluasi terhadap pengendalian mutu. Salah satu tool yang digunakan untuk membantu pengendalian kualitas adalah menggunakan metode *Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA). Penggunaan FMEA mampu mengidentifikasi risiko kegagalan yang terjadi selama proses produksi pada pengelasan kombinasi. Dan yang tidak kalah penting dari mengidentifikasi risiko kegagalan adalah perhitungan nilai ekonomis dari pengelasan kombinasi. Pada laporan ini akan didapatkan resiko kegagalan terbesar dalam nilai RPN (*Risk Priority Number*) maupun perbandingan faktor yang mempengaruhi dari *welding defect*. Selain itu pada laporan akan didapatkan besarnya nilai ekonomis pada sambungan pipa API 5L X52 maupun perbandingan dari 2 pengelasan kombinasi yang berbeda.

Kata Kunci: pengelasan kombinasi; *welding defect*; *failure modes and effect analysis*; *risk priority number*; nilai ekonomis

RISK AND ECONOMIC ANALYSIS FOR WELDING COMBINATION PIPE API 5L X52

Name : Salomo P Sihombing
NRP : 4312100074
Department : Teknik Kelautan - ITS
Mentors : Dr.Eng.Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.
Herman Pratikno, S.T., M.T.,Ph.D.

ABSTRACT

Recently in fabrication sector, welding technology used frequently as found in various construction welding applications, welding shipbuilding, the vehicle frame (chassis), railways, gas pipelines, and so on. The welding have some procedures and steps that have to be done before doing the connection process. However by reality in the result of the welding often found welding defect, therefore an evaluation of the quality control is required. One of the tool that can be used to help controlling the quality is by using Failure Modes and Effect Analysis (FMEA). The use of FMEA will be able to identify the risk of failures that occurred during the production process in welding combination. And nonetheless important than identifying the risk of failure is the calculation of economic value of welding combinations. Through this report book we will get the greatest risk of failure in the value of RPN (Risk Priority Number) as well as factor comparison that affecting the welding defect. Furthermore, there will be the amount of economic value to the API 5L X52 pipe connection as well as a comparison of two different combinations of welding.

Keywords: welding combination; *welding defect*; *failure modes and effect analysis*; *risk priority number*; economic value

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Material	6
2.2.2 Proses Fabrikasi.....	9
2.2.3 <i>Beveling</i> dan <i>Cutting</i>	9
2.2.4 Pengelasan (<i>Welding</i>)	10
2.2.4.1 Klasifikasi Pengelasan	10
2.2.4.2 <i>SMAW</i>	11
2.2.4.3 <i>GTAW</i>	13
2.2.4.4 <i>FCAW</i>	15
2.2.4.5 Pengelasan Kombinasi.....	17
2.2.4.6 Elektroda Las	18
2.2.4.7 Cacat Las	20
2.2.4.8 <i>WPS (Welding Procedure Specification)</i>	23

2.2.5 Pengujian Radiografi.....	25
2.2.5.1 Prinsip Kerja.....	25
2.2.6 <i>Risk Analysis</i>	26
2.2.7 Diagram <i>Pareto</i>	26
2.2.8 <i>Fishbone Diagram</i>	27
2.2.9 FMEA (<i>Failure Modes and Effects Analysis</i>)	28
2.2.9.1 <i>Process FMEA</i>	30
2.2.9.2 <i>Risk Priority Number (RPN)</i>	30
2.2.10 Perhitungan Nilai Ekonomis	32
2.2.10.1 Konsumsi Elektroda	32
2.2.10.2 Biaya Proyek Pengelasan	34
2.2.11 Depresiasi	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	39
3.1 Diagram Alir Penelitian	39
3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian	41
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Pengumpulan Data	45
4.1.1 Data Report Inspeksi <i>Radiography Test (RT)</i>	45
4.1.2 Data Material.....	46
4.1.3 Data WPS (<i>Welding Procedure Specification</i>)	47
4.1.4 Data Survey	49
4.2 Analisa Resiko Pengelasan Kombinasi.....	50
4.2.1 Diagram <i>Pareto</i>	50
4.2.2 <i>Fishbone Diagram</i>	51
4.2.3 <i>Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)</i>	53
4.2.3.1 Kuesioner Tingkat Keparahan (<i>Severity</i>)	53
4.2.3.2 Kuesioner Tingkat Kejadian (<i>Ocuurance</i>)	54
4.2.3.3 Kuesioner Metode Deteksi (<i>Detection</i>)	56
4.2.3.4 Menghitung nilai RPN.....	58
4.2.3.5 Membuat Ranking RPN	58
4.2.3.6 Usulan Perbaikan (<i>Recommended Action</i>)	59

4.2.3.7 Prioritas Usulan Perbaikan	59
4.2.3.8 Perbandingan Faktor yang Mempengaruhi.....	60
4.2.3.8.1 Perbandingan Faktor untuk <i>Porositas</i>	60
4.2.3.8.2 Perbandingan Faktor untuk <i>Incomplete Fusion</i>	61
4.2.3.8.3 Perbandingan Faktor untuk Slag Inclusion.....	62
4.2.3.8.4 Perbandingan Faktor untuk <i>Incomplete Penetration</i> ..	62
4.3 Perhitungan Nilai Ekonomis	63
4.3.1 Perhitungan Konsumsi Elektroda.....	63
4.3.1.1 Perhitungan Konsumsi Elektroda Las Kombinasi 1	63
4.3.1.2 Perhitungan Konsumsi Elektroda Las Kombinasi 2.....	67
4.3.2 Perhitungan Biaya Las	68
4.3.2.1 <i>Labor Cost</i> dan <i>Overhead Cost</i>	68
4.3.2.2 <i>Weld Metal Cost</i>	68
4.3.2.3 <i>Operating Factor</i> dan <i>Deposition Rate</i>	69
4.3.2.4 Biaya Keseluruhan.....	69
4.3.2.5 Perhitungan Nilai Keuntungan	71
4.4 Perhitungan Depresiasi	71
4.5 Perbandingan Nilai Ekonomis	72
4.5.1 Perbandingan Konsumsi Elektroda	72
4.5.2 Perbandingan Biaya Keseluruhan	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Aktivitas Las	1
Gambar 2.1 Tipe Flange.....	9
Gambar 2.2 Proses Fabrikasi.....	9
Gambar 2.3 <i>Cutting</i> dan <i>Bevelling</i> Material	10
Gambar 2.4 Skema Pengelasan SMAW.....	12
Gambar 2.5 Skema Pengelasan GTAW	14
Gambar 2.6 Skema Pengelasan FCAW	15
Gambar 2.7 Pengelasan Kombinasi	18
Gambar 2.8 Elektroda Las.....	18
Gambar 2.9 <i>Spatter</i>	21
Gambar 2.10 Las yang Mengalami Penetrasi Lebih	21
Gambar 2.11 <i>Incomplete Penetration</i>	21
Gambar 2.12 <i>Incomplete Fusion</i>	22
Gambar 2.13 <i>Slag Inclusion</i>	22
Gambar 2.14 <i>Porosity</i>	22
Gambar 2.15 Retak (<i>Crack</i>)	23
Gambar 2.16 <i>Undercut</i>	23
Gambar 2.17 Radiografi Test.....	26
Gambar 2.18 Langkah-Langkah FMEA	29
Gambar 2.19 Skema Pengelasan	33
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1 Permodelan Pipa Tampak Samping	47
Gambar 4.2 Permodelan Pipa Tampak Atas	47
Gambar 4.3 Detail Joint	48
Gambar 4.4 Diagram <i>Pareto</i> Cacat Las Kombinasi.....	51
Gambar 4.5 <i>Fishbone</i> Diagram <i>Porosity</i>	52
Gambar 4.6 <i>Fishbone</i> Diagram <i>Incomplete Penetration</i> dan <i>Fusion</i>	52
Gambar 4.7 <i>Fishbone</i> Diagram <i>Slag Inclusion</i>	53
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Faktor <i>Porosity</i>	61
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Faktor <i>Incomplete Fusion</i>	61

Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Faktor Slag Inclusion	62
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Faktor Incomplete Penetration.....	62
Gambar 4.12 Pembagian Layer.....	63
Gambar 4.13 Grafik Metode Garis Lurus	72
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Konsumsi Elektroda.....	73
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Biaya	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Grade Material Berdasarkan Standar API.....	7
Tabel 2.2 Klasifikasi Ranking <i>Severity</i>	31
Tabel 2.3 Klasifikasi Ranking <i>Occurance</i>	31
Tabel 2.4 Klasifikasi Ranking <i>Detection</i>	32
Tabel 2.5 Effisiensi Faktor	33
Tabel 2.6 Perhitungan Efisiensi	35
Tabel 2.7 Formula Perhitungan Biaya	36
Tabel 4.1 Report <i>Weld Repair</i> Selama 11 Bulan	45
Tabel 4.2 Report <i>Welding Defect</i>	46
Tabel 4.3 Spesifikasi Material (API Specification 5L).....	46
Tabel 4.4 Parameter Pengelasan GE-180-WPS	48
Tabel 4.5 Parameter Pengelasan GE-168-WPS	48
Tabel 4.6 Upah Pekerja 2016.....	49
Tabel 4.7 Harga Elektroda	50
Tabel 4.8 Cumulative Presentase <i>Welding Defect</i>	50
Tabel 4.9 Hasil Pengolahan Kuesioner <i>Severity</i>	54
Tabel 4.10 Hasil Pengolahan Kuesioner <i>Occurance</i>	55
Tabel 4.11 Hasil Pengolahan Kuesioner <i>Detection</i>	57
Tabel 4.12 Ranking RPN Tiap Jenis Kegagalan.....	58
Tabel 4.13 <i>Recommended Action</i>	59
Tabel 4.14 Estimasi Biaya pada Usulan Perbaikan.....	60
Tabel 4.15 Estimasi Konsumsi Elektroda Kombinasi 1.....	67
Tabel 4.16 Estimasi Konsumsi Elektroda Kombinasi 2.....	68
Tabel 4.17 <i>Labor Cost</i> dan <i>Overhead Cost</i>	68
Tabel 4.18 Weld Metal Cost	69
Tabel 4.19 Perhitungan Operation Factor dan Deposition Rate	69
Tabel 4.20 Perhitungan Biaya Keseluruhan Las Kombinasi 1	70
Tabel 4.21 Perhitungan Biaya Keseluruhan Las Kombinasi 2	70
Tabel 4.22 Biaya Total.....	71
Tabel 4.23 Keuntungan	71
Tabel 4.24 Depresiasi.....	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam era globalisasi ini kemajuan teknologi sangat pesat sehingga para pelaku industri diharapkan cepat dalam beradaptasi. Pada waktu ini telah dipergunakan secara luas teknik dalam penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin yaitu dengan teknik las. Lingkup penggunaan teknik las dalam konstruksi sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, pipa, bahkan kendaraan rel. Las menurut DIN (*Deutch Industrie Normen*) adalah suatu katan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair (Harsono dkk, 1996).



Gambar 1.1 Aktifitas Las
Sumber : libratama.com

Penyambungan dua logam baja pada konstruksi bangunan laut menggunakan cara pengelasan memiliki banyak keuntungan dibanding dengan metode penyambungan lainnya. Pengelasan bukan tujuan utama dari konstruksi, tetapi hanya merupakan sarana untuk mencapai ekonomi pembuatan yang lebih baik, karena itu rancangan las dan cara pengelasan harus betul-betul memperhatikan kesesuaian antara sifat-sifat las dengan kegunaan konstruksi dan keadaan di sekitarnya serta efisiensinya. (Harsono dkk, 1996)

Pemilihan metode dalam proses pengelasan yang tepat diharapkan dapat berproduksi lebih cepat dan tepat guna untuk bersaing pada era global. Beberapa metode pengelasan yang dikenal antara lain:

- SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)
- GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)
- FCAW (*Flux Cored Arc Welding*)

Dari dua jenis proses diatas masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan baik dari segi hasil maupun nilai ekonomis. Proses pengelasan terlihat sangat sederhana, tetapi faktanya banyak masalah yang harus diatasi, seperti pada saat inspeksi pada hasil pengelasan. Inspeksi hasil pengelasan dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu *Destructive Test* dan *Non Destructive Test*. *Non Destructive Test (NDT)* merupakan pengujian yang dilakukan tanpa merusak pada bagian yang diuji (Harsono dkk, 1996).

Hasil dari NDT menunjukkan apakah pada hasil las terdapat cacat atau tidak. Cacat pada hasil las dapat menyebabkan kerugian. Kerugian yang ditimbulkan dapat menyerang ke beberapa aspek, seperti pada aspek ekonomis maupun waktu. Dibutuhkan cara yang tepat untuk mendapatkan hasil las yang baik. Banyak variabel yang mempengaruhi hasil dari las tersebut, variabel yang dimaksud adalah parameter pengelasan yang ada pada WPS (*Welding Procedure Specification*).

Hasil dari pengelasan juga dapat menyebabkan tegangan sisa yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur yang besar dan distorsi terjadi jika logam las dibiarkan bergerak leluasa selama pendinginan. Tegangan sisa yang terjadi pada kampuh las dapat menyebabkan kegagalan yang mana dapat mengurangi kekuatan dari struktur dan komponen (Setyawati, 2010). Oleh karena itu diperlukannya komposisi parameter yang tepat untuk mengoptimalkan hasil dari pengelasan.

Pada tugas akhir ini akan membahas tentang pengelasan kombinasi untuk material pipa API 5L X52, yang melingkupi analisa resiko dan analisa biaya pengelasan kombinasi.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah:

1. Berapa besar nilai RPN (*Risk Priority Number*) dari hasil pengelasan kombinasi?
2. Apa faktor kegagalan terbesar pada hasil pengelasan kombinasi?
3. Berapa besar nilai ekonomis dari 2 pengelasan kombinasi yang berbeda untuk Pipa API 5L X52?
4. Bagaimana perbandingan nilai ekonomis dari 2 pengelasan kombinasi yang berbeda untuk Pipa API 5L X52?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar nilai RPN dari hasil pengelasan kombinasi.
2. Mengetahui faktor kegagalan terbesar dari hasil pengelasan kombinasi.
3. Mengetahui besar nilai ekonomis dari 2 pengelasan kombinasi Pipa API 5L X52.
4. Mengetahui perbandingan nilai ekonomis dari 2 pengelasan kombinasi Pipa API 5L X52.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari pengerjaan tugas akhir ini bagi penulis ialah untuk menambah pengetahuan tentang teknologi dan inspeksi las terutama dilihat dari segi resiko dan nilai ekonomisnya. Selain itu, dapat digunakan sebagai masukan untuk perusahaan dalam pemilihan metode pengelasan dan biayanya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini ialah:

1. Inspeksi las yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah *Radiography Test* (RT).
2. Base material yang digunakan adalah Pipa API 5L X52.

3. WPS (*Welding Procedure Specification*) yang digunakan GE-180-WPS dan GE-168-WPS adalah milik PT.X.
4. Panjang base material diasumsikan.
5. Menghitung nilai ekonomis yang meliputi banyaknya konsumsi elektroda dan biaya pengelasan.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini adalah dimulai dengan bab I berupa pendahuluan yang berisi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dari penelitian, manfaat yang akan didapat, batasan masalah serta sistematika penulisan.

Bab II yang berisi dasar teori dan tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi dan pedoman dari Tugas Akhir ini. Tinjauan pustaka yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir dari penelitian tugas akhir, dasar–dasar teori, rumus–rumus dan *code* yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir secara rinci akan dibahas dalam bab dua.

Bab III dalam penulisan akan menjelaskan tentang metodologi yang akan digunakan penulis untuk menyelesaikan permasalahan Langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini dan metodologi yang digunakan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini

Bab IV berisikan data dan pembahasan hasil analisa penelitian dalam tugas akhir ini. Bab ini membahas pengolahan data hasil dari analisa pemodelan hingga menghasilkan output yang dihendaki.

Pada Bab V ini berisikan tentang kesimpulan dari penulisan tugas akhir, yang mana berisi tentang hasil akhir dari analisa yang telah dilakukan sesuai dengan permasalahan yang ada, serta beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penyempurnaan dari hasil analisa yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada bidang industri maritim, pengelasan adalah salah satu bagian yang sangat penting, salah satu contoh pada perusahaan EPC (*Engineering Procurement Construction*) untuk sambungan pada material dibuat dengan proses pengelasan. Pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair. Dari definisi diatas dapat dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. (Wiryosumarto,1994)

Sistem penyambungan las ini dapat menghasilkan efisiensi sambungan dan tingkat kerapatan yang tinggi, dengan biaya fabrikasi yang kecil. Meskipun demikian, dapat ditemukannya kekurangan berupa cacat pada hasil pengelasan. Ketidakteitian operator mungkin dapaat menjadi salah satu penyebab terjadinya cacat pada hasil pengelasan. Ketidakteitian ini dapat berupa pengaturan kuat arus listrik mesin las yang tidak stabil, batang elektroda las,tidak bersihnya komponen yang akan dilas, dan lain-lain. (Sallman Fachmi,2005)

Pengelasan kombinasi atau pengelasan dua layer dengan metode pengelasan yang berbeda sering dijumpai pada fabrikasi pipa. Maka diperlukannya analisa pengaruh hasil pengelasan kombinasi ini, dimana kuat arus sangat berpengaruh. Pada pelaksanaannya bila terlalu rendah arus yang digunakan maka, busur listrik akan susah menyala dan tidak stabil, menyebabkan tidak cukupnya panas yang dihasilkan untuk melelehkan filler metal serta bahan dasarnya, sehingga berpengaruh pada hasil penembusan yang kurang dalam serta rigi-rigi las kecil dan tidak merata, sebaliknya bila terlalu tingginya arus yang digunakan akan brakibat terlalu cepatnya filler metal mencair dan lebih lebarnya permukaan las serta penembusan hasil lasan yang lebih dalam sehingga kekuatan tarik yang dihasilkan menurun. (Awali, 2014)

Suatu komponen konstruksi bangunan dengan sambungan las, harus direncanakan pula tentang cara pengelasan, cara pemeriksaan, bahan las dan jenis

las yang akan dipergunakan, berdasarkan fungsinya dan bagian-bagian konstruksi yang dirancang. Salah satu bagian dari sistem produksi yang kompleks adalah masalah teknologi produksi pengelasan, yang mana berperan penting dalam konstruksi bangunan laut. Meskipun kelihatan sangat mudah, tetapi sebenarnya pengelasan mempunyai banyak masalah yang harus diatasi supaya mendapatkan hasil lasan dengan kualitas yang baik. (Sunaryo,2008)

Rajenthirakumar (2014) dengan *judul Defect Reduction in Gas Tungsten Arc Welding Process Using Failure Mode Effect Analysis* melakukan metode FMEA untuk mengurangi jenis kegagalan yang terjadi pada pengelasan *Gas Tungsten Arc Welding* (TIG) untuk material Stainless Steel AISI tipe 304L. Pekerjaan pada penelitian ini berfungsi sebagai panduan pencegahan kegagalan bagi mereka yang melakukan proses pengelasan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Material

Material dalam bidang konstruksi khususnya konstruksi bidang migas sangat banyak jenisnya. Jenis ini sangat berpengaruh pada proses penggunaannya. Material yang sering digunakan dalam konstruksi bidang migas adalah pipa. Perancangan pipa melibatkan pemilihan diameter pipa, ketebalan dan material yang digunakan. Desain dilakukan untuk pemilihan jenis bahan pipa yang akan dipakai, apakah akan menggunakan pipa dari baja, komposit, atau jenis fleksibel yang kemudian membuat keputusan detail mengenai komposisi dan spesifikasi dari material yang digunakan. Pertimbangan pemilihan material pipa harus didasarkan pada jenis fluida yang akan ditransportasikan, beban, temperatur, dan mode kerusakan yang mungkin selama proses instalasi dan operasi. Pemilihan material pipa harus dicocokkan dengan semua komponen dalam sistem pipa bawah laut. Pipa yang dipilih harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut:

- Sifat mekanik
- Kekakuan
- Ketahanan terhadap retak/fraktur.

- Ketahanan terhadap *fatigue*
- *Weldability*
- Ketahanan terhadap korosi

Tabel 2.1 Grade Material Berdasarkan Standar *API*

<i>API Grade</i>	SMYS		SMTS	
	<i>ksi</i>	<i>Mpa</i>	<i>ksi</i>	<i>MPa</i>
X42	42	289	60	413
X46	46	317	63	434
X52	52	358	66	455
X56	56	386	71	489
X60	60	413	75	517
X65	65	448	77	530
X70	70	482	82	565
X80	80	551	90	620

Spesifikasi umum dapat dilihat pada ASTM (American Society of Testing Materials). Dimana disitu diterangkan mengenai Diameter, Ketebalan serta schedule pipa. Diameter Luar (Outside Diameter), ditetapkan sama walaupun ketebalan (thickness) berbeda untuk tiap schedule. Diameter dalam (Inside Diameter), ditetapkan berbeda untuk setiap schedule. Diameter Nominal adalah diameter pipa yg dipilih untuk pemasangan ataupun perdagangan (commodity). Ketebalan dan schedule, sangatlah berhubungan, hal ini karena ketebalan pipa tergantung daripada schedule pipa itu sendiri.

Schedule pipa ini dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Schedule 5, 10 , 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 160.
2. Schedule standard.
3. Schedule Extra strong (XS).
4. Schedule double Extra Strong (XXS).
5. Schedule special.

Komponen perpipaan :

Komponen perpipaan harus dibuat berdasarkan spesifikasi standar yg terdaftar dalam simbol dan kode yg telah dibuat atau dipilih sebelumnya.

Komponen perpipaan yg dimaksud disini meliputi:

1. Pipes (pipa-pipa)
2. Flanges (flens-flens)
3. Fittings (sambungan)
4. Valves (katup-katup)
5. Boltings (baut-baut)
6. Gasket
7. Specials items

Salah satu jenis sambungan pada sistem perpipaan (pipa dengan pipa/spooling, pipa dengan valves, pipa dengan equipment) adalah dengan menggunakan flange. Sambungan flange dibuat dengan cara menyatukan dua buah flange dengan menggunakan baut dan mur, serta menyisipkan gasket antara kedua flange.

Di pasaran terdapat bermacam-macam jenis flange:

a. Slip-On Type Flange (SO).

Flange jenis ini memiliki ketahanan yang rendah terhadap getaran dan kejutan, serta konfigurasiya menimbulkan gangguan aliran di dalam pipa. Las-lasan bagian dalam cenderung lebih mudah terkorosi dibandingkan weld neck type flange.

b. Weld-Neck Type Flange (WN)

Tipe flange ini dipakai secara luas untuk berbagai aplikasi dan rating. Dibandingkan dengan SO flange, WN flange lebih tahan terhadap getaran, kejutan, geseran, dampak, dan suhu tinggi. Lebih lanjut, konfigurasiya tidak menimbulkan gangguan pada aliran.

c. Lap-Joint Type Flange (LJ)

Flange jenis ini digunakan jika dengan pertimbangan ekonomis, material stub-end dan flange secara individual dibedakan. Jika saat instalasi perpipaan pemasangan baut dan mur sulit karena keterbatasan ruang, LJ flange dapat dipakai.

d. Socket-Welding Type Flange (SW)

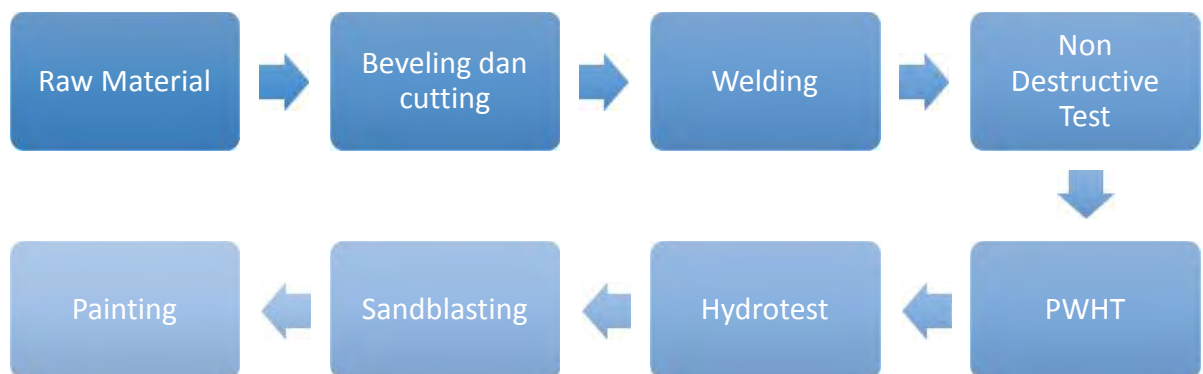
Biasanya flange jenis ini dipakai untuk perpipaan berdiameter di bawah 2” Untuk lebih rinci bisa mengacu pada bagian socket-welding fittings.



Gambar 2.1 Tipe Flange
Sumber : wermac.org

2.2.2 Proses Fabrikasi

Beberapa prosedur kerja dalam dunia fabrikasi yang harus dilaksanakan antara lain proses *beveling dan cutting*, *fit-up*, *welding*, *Non Destructive Test*, *PWHT*, *hydrotest*, *sandblasting*, dan *painting*. Prosedur tersebut harus dilakukan sesuai dengan aturan dan code yang digunakan. Biasanya setiap *client* memiliki *standart* dan *code* sendiri. Itu bertujuan agar produk yang dihasilkan nantinya sesuai dengan *standart* perusahaan *client*.



Gambar 2.2 Proses Fabrikasi
Sumber : Dok. Pribadi

2.2.3 Beveling dan Cutting

Material yang masih berupa bentukan '*raw material*' dari pabrik perlu diolah sebagaimana drawing desain yang dibutuhkan. Proses pertama dalam fabrikasi ini adalah cutting material yang disesuaikan dengan drawing desain. Alat untuk memotong material adalah *cutting torch*. Langkah berikutnya adalah beveling, merupakan proses pembuatan bevel atau sudut pengelasan pada sambungan *piping* sesuai WPS (*Welding Procedure Specification*). Tujuannya untuk memperkuat sambungan pada pipa saat proses pengelasan. Alat yang digunakan adalah gerindra.



Gambar 2.3 Cutting dan Beveling Material
Sumber : qs-pipemachine.com

2.2.4 Pengelasan (Welding)

Berdasarkan Deutsche Industrie Normen (DIN) pengelasan atau las didefinisikan sebagai ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas (Wiryo Sumarto, 2000). Pada masa sekarang telah digunakan lebih dari 40 jenis pengelasan termasuk pengelasan yang dilaksanakan dengan hanya menekan dua logam yang disambung sehingga terjadi ikatan antara atom-atom atau molekul-molekul dari logam yang disambungkan.

2.2.4.1 Klasifikasi Pengelasan

Pada saat ini belum ada pengklasifikasian pengelasan secara pasti karena belum ada kesepakatan dalam hal ini. Namun untuk mempermudah proses belajar secara konvensional pengelasan dibagi menjadi dua golongan yaitu, berdasarkan cara kerja dan klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan (Wiryosumarto, 2000).

Klasifikasi pengelasan yang paling umum dan banyak digunakan adalah berdasarkan cara kerjanya. Proses pengelasan dibagi menjadi tiga bagian utama (Wiryosumarto, 2000), yaitu :

1. Pengelasan Cair:

Cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau semburan api gas yang terbakar.

2. Pengelasan Tekan

Cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan dan kemudian ditekan hingga menjadi satu.

3. Pematrian

Cara penyambungan dengan menggunakan logam pengisi atau logam patri di antara permukaan logam induk yang disambung.

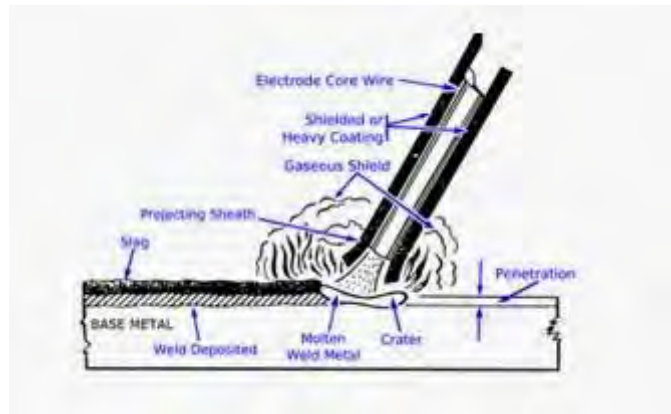
2.2.4.2 SMAW

Proses pengelasan SMAW yang umumnya disebut Las Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda. Panas tersebut ditimbulkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas). Panas yang timbul dari lonjakan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000° sampai 4500° Celcius. Sumber tegangan yang digunakan ada dua macam yaitu listrik AC (Arus bolak balik) dan listrik DC (Arus searah). Proses terjadinya pengelasan karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek dan saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (*welder*) harus menarik elektrode sehingga terbentuk busur listrik yaitu lonjakan ion yang

menimbulkan panas. Panas akan mencairkan elektrode dan material dasar sehingga cairan elektrode dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan (*weld metal*). Untuk menghasilkan busur yang baik dan konstan tukang las harus menjaga jarak ujung elektroda dan permukaan material dasar tetap sama. Adapun jarak yang paling baik adalah sama dengan diameter elektroda yang dipakai.

Karakter Mesin

Persyaratan dari proses SMAW adalah persediaan yang kontinyu pada arus listrik dengan jumlah ampere dan voltage yang cukup baik sehingga kesetabilan api las akan tetap terjaga.



Gambar 2.4 Skema Pengelasan SMAW
Sumber : navale-engineering.blogspot.com

Kelebihan metode pengelasan SMAW:

1. Dapat dipakai dimana saja didalam air maupun di luar air
2. Pengelasan dengan segala posisi.
3. Elektroda tersedia dengan mudah dalam banyak ukuran dan diameter.
4. Peralatan yang digunakan sederhana, murah dan mudah dibawa kemana-mana.
5. Tingkat kebisingan rendah.
6. Tidak terlalu sensitif terhadap korosi, oli & gemuk.
7. Dapat di kerjakan pada ketebalan berapapun

Kekurangan metode pengelasan SMAW:

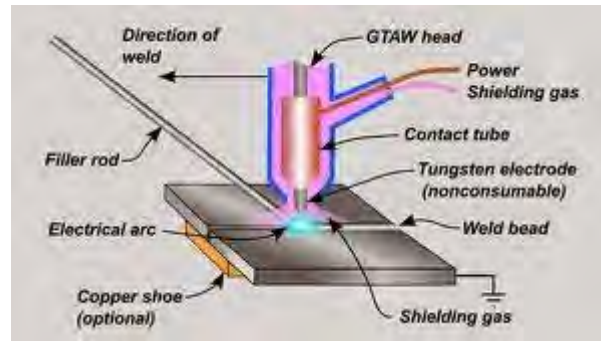
1. Pengelasan terbatas hanya sampai sepanjang elektoda dan harus melakukan penyambungan.
2. Setiap akan melakukan pengelasan berikutnya flag harus dibersihkan.
3. Tidak dapat digunakan untuk pengelasan bahan baja non – ferrous.
4. Efisiensi endapan rendah

2.2.4.3 GTAW

Gas tungsten arc welding (GTAW) adalah proses las busur yang menggunakan busur antara tungsten elektroda (non konsumsi) dan titik pengelasan. Proses ini digunakan dengan perlindungan gas dan tanpa penerapan tekanan. Proses ini dapat digunakan dengan atau tanpa penambahan filler metal. GTAW telah menjadi sangat diperlukan sebagai alat bagi banyak industri karena hasil las berkualitas tinggi dan biaya peralatan yang rendah.

Prinsipnya yaitu panas dari busur terjadi diantara elektrode tungsten dan logam induk akan meleburkan logam pengisi ke logam induk di mana busurnya dilindungi oleh gas mulia (Ar atau He)

Las listrik TIG (Tungsten Inert Gas = Tungsten Gas Mulia) menggunakan elektroda wolfram yang bukan merupakan bahan tambah. Busur listrik yang terjadi antara ujung elektroda wolfram dan bahan dasar merupakan sumber panas, untuk pengelasan. Titik cair elektroda wolfram sedemikian tingginya sampai 3410° C, sehingga tidak ikut mencair pada saat terjadi busur listrik. Tangkai listrik dilengkapi dengan nosel keramik untuk menyembur gas pelindung yang melindungi daerah las dari luar pada saat pengelasan. Sebagian bahan tambah dipakai elektroda tanpa selaput yang digerakkan dan didekatkan ke busur yang terjadi antara elektroda wolfram dengan bahan dasar. Sebagai gas pelindung dipakai gas inert seperti argon, helium atau campuran dari kedua gas tersebut yang pemakaiannya tergantung dari jenis logam yang akan dilas.



Gambar 2.5 Skema Pengelasan metode GTAW

Sumber : en.wikipedia.org

Kelebihan metode pengelasan GTAW:

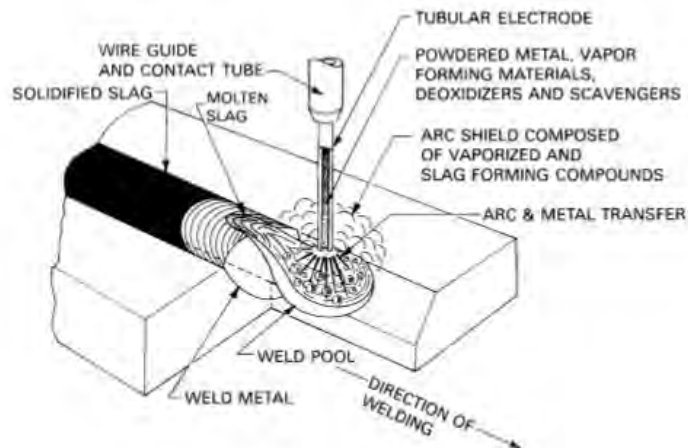
1. Efisiensi tinggi dan waktu pengerjaan pengelasan sangatlah cepat
2. Dapat digunakan ke semua posisi pengelasan
3. Tidak menghasilkan kerak
4. Proses pengelasan ini sangat cocok untuk pekerjaan konstruksi
5. Membutuhkan sedikit pembersihan saat pengelasan
6. Bebas dari percikan yang terjadi jika dibandingkan dengan proses las busur lainnya
7. Dapat digunakan dengan atau tanpa filler metal yang diperlukan untuk aplikasi tertentu.
8. Memungkinkan pengontrolan yang sangat baik dari penetrasi root pass las
9. Dapat menghasilkan lasan autogenous yang murah pada kecepatan tinggi
10. Menggunakan pasokan listrik yang relatif murah.
11. Memungkinkan pengontrolan yang tepat dari variabel pengelasan.
12. Dapat digunakan untuk mengelas hampir semua logam, termasuk sambungan yang berbeda.
13. Sumber panas dan penambahan filler metal pada sambungan logam yang berbeda, dapat dikontrol secara manual.

Kekurangan metode pengelasan GTAW:

1. Wire-feeder memerlukan pengontrolan atau proses secara bertahap
2. Sewaktu-waktu dapat terjadi burnback

3. Cacat las porosity/berlubang-lubang kecil sering terjadi akibat gas pelindung permukaan pengelasan tersebut kualitas nya tidak bagus atau buruk

2.2.4.4 FCAW



NEM JET

Gambar 2.6 Skema Pengelasan metode FCAW

Sumber : *slideshare.net*

FCAW adalah Las busur listrik flux inti tengah / pelindung inti tengah. FCAW merupakan kombinasi antara proses SMAW, GMAW dan SAW. Sumber energi pengelasan : menggunakan arus listrik AC atau DC dari pembangkit listrik atau melalui trafo dan atau rectifier. Dalam hal ini dapat menggunakan DCRP atau DCSP.

FCAW adalah salah satu jenis las listrik yang memasok filler elektroda secara mekanis terus ke dalam busur listrik yang terbentuk di antara ujung filler elektroda dan metal induk.

Elektroda pada FCAW terbuat dari metal tipis yang digulung *cylindrical* , diisi dengan flux sesuai kegunaannya.

Pelindung proses pengelasan ini dari kemungkinan kontaminasi dari luar, terlaksana dengan :

- a. Gas yang dihasilkan pada proses pengelasan

- b. Terak yang dihasilkan cukup banyak karena berada pada inti elektroda.
- c. Tambahan gas pelindung dari luar jika diinginkan

Proses FCAW pada dasarnya sama dengan GMAW dan yang menjadi pembeda utamanya adalah elektrodanya yang berbentuk tubular yang berisi fluks. Berdasarkan metode pelindung, FCAW dibedakan :

- a. *Self shielding* FCAW (Pelindungan sendiri) , yaitu melindungi las yang mencair dengan gas dari hasil penguapan dan reaksi inti fluks.
- b. *Gas shielding* FCAW (perlindungan gas) adalah dual gas, yaitu melindungi las yang mencair selain dengan gas sendiri juga ditambah gas pelindung dari luar sistem.

Kedua jenis pelindung di atas sama-sama menghasilkan terak las yang memadai untuk melindungi metal las yang akan beku. Perbedaannya terletak pada tambahan sistem pemasok gas dan welding torch (*welding gun*).

Berdasarkan cara pengoperasiannya, FCAW dibedakan menjadi :

- 1. Semi otomatis (*semi automatic*)
- 2. Otomatik (*machine otomatis*)

Sifat-sifat utama (*Principal features*) FCAW dalam proses pengelasan :

- 1. Produktivitas yang kontinu dari pasokan elektroda las
- 2. Sifat *metalurgy* las yang dapat dikontrol dari pemilihan *fluks*
- 3. Pembentukan manik las yang cair dapat ditopang oleh slag yang tebal dan kuat

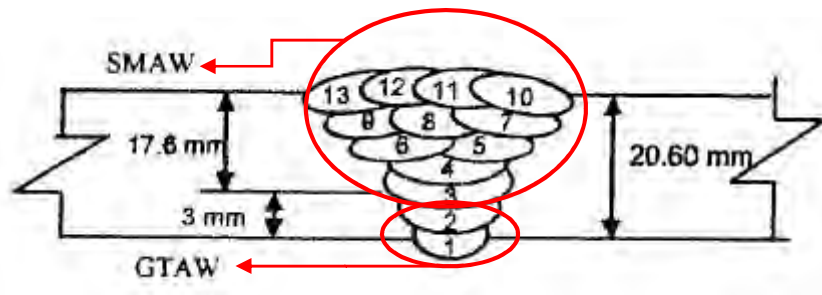
Pelindung gas umumnya menggunakan gas CO₂ atau campuran CO₂ dengan Argon. Namun dengan keberadaan oksigen kadang akan menimbulkan problem baru yaitu dengan porosity yang dihasilkan reaksi CO₂ dan oxygen yang ada di udara sekitar lasan, sehingga perlu memilih fluks yang mengandung zat yang bersifat pengikat *oxygen* atau *deoxydizer*.

Penggunaan utama FCAW :

1. Baja karbon (*carbon steel*)
2. Baja karon Alloy rendah (*Low alloy carbon steel*)
3. Baja tahan karat (*Stainless steel*)
4. Besi tuang (*Cast Iron*)
5. Las titik baja tipis (*Sheet steel spot welding*)
6. Pengerasan & pelapisan permukaan (*Steel hard facing and cladding*)

2.2.4.5 Pengelasan Kombinasi

Pengelasan kombinasi yang dimaksud pada tugas akhir ini adalah pengelasan dengan menggunakan 2 metode pengelasan pada satu join. Umumnya *filler Metal* yang berasal dari luar pada GTAW bertujuan mengisi gap pada sambungan, busur listrik mencairkan *filler metal* bersama logam induk yang terjadi antara elektroda dengan logam induk. Pada pengelasan GTAW, *Filler Metal* disebut juga *Filler rod* atau batang pengisi pada posisi *root pass* atau biasa dalam istilah pengelasan yaitu bagian akar, yang dilakukan pada tahap paling awal dalam pengelasan atau pada tahap penyambungan awal. Sedangkan pada pengelasan SMAW, elektroda berfungsi sebagai bahan pengisi, pada umumnya SMAW diposisikan sebagai *cover pass* atau biasa dalam istilah pengelasan yaitu bagian pengisi paling luar, hal ini dikarenakan tahap pengelasan yang terjadi hanya ada 2 layer sehingga setelah dilakukan pengelasan pada *root pass* atau bagian akar langsung ditutup dengan *cover pass*, berbeda ketika pengelasan yang dilakukan terjadi 3 layer atau lebih pada bagian *root pass* dan sebelum *cover pass* disebut *hot pass* yaitu bagian yang terletak ditengah layer atau bisa disebut bagian inti pada pengelasan *multilayer*. (Awali, 2014)



Gambar 2.7 Pengelasan kombinasi

Sumber : Dok. Pribadi

2.2.4.6 Elektroda Las

Elektroda las yang dipakai pada las busur listrik mempunyai perbedaan komposisi selaput maupun kawat inti. Ukuran standar diameter kawat inti dari 1,5 mm – 7 mm dengan panjang antara 350 sampai 450 mm. Tebal selaput elektroda berkisar antara 70% sampai 50% dari diameter elektroda dari jenis selaput. Pada waktu pengelasan, selaput elektroda ini akan turut mencair dan menghasilkan gas CO₂ yang melindungi cairan las, busur listrik dan sebagian benda kerja terhadap udara luar. Udara luar yang mengandung O₂ dan N akan dapat mempengaruhi sifat



Gambar 2.8 Elektroda Las

Sumber : chawqnoors.blogspot.com

mekanik dari logam las. Cairan selaput yang disebut terak akan terapung dan membeku melapisi permukaan las yang masih panas.

Elektroda baja lunak dan baja paduan rendah untuk las busur listrik menurut klasifikasi AWS (American Welding Society) dinyatakan dengan tanda E XXXX yang artinya sebagai berikut :

- E : menyatakan elektroda busur listrik
- XX (dua angka) : sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam ribuan lb/in² lihat table.
- X (angka ketiga) : menyatakan posisi pengelasan.
- angka 1 untuk pengelasan segala posisi. angka 2 untuk pengelasan posisi datar di bawah tangan
- X (angka keempat) menyatakan jenis selaput dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan lihat table.

Contoh : E 6013 Artinya:

- Kekuatan tarik minimum dan deposit las adalah 60.000 lb/in² atau 42 kg/mm²
- Dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi
- Jenis selaput elektroda Rutil-Kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC + atau DC –

Dan bermacam-macam jenis elektroda baja lunak perbedaannya hanyalah pada jenis selaputnya. Sedangkan kawat intinya sama.

1. E 6010 dan E 6011

Elektroda ini adalah jenis elektroda selaput selulosa yang dapat dipakai untuk pengelesan dengan penembusan yang dalam. Pengelasan dapat pada segala posisi dan terak yang tipis dapat dengan mudah dibersihkan. Deposit las biasanya mempunyai sifat mekanik yang baik dan dapat dipakai untuk pekerjaan dengan pengujian Radiografi. Selaput selulosa dengan kebasahan 5% pada waktu pengelasan akan menghasilkan gas pelindung. E 6011 mengandung Kalium untuk membantu menstabilkan busur listrik bila dipakai arus AC.

2. E 6012 dan E 6013

Kedua elektroda ini termasuk jenis selaput rutil yang dapat menghasilkan penembusan sedang. Keduanya dapat dipakai untuk pengelasan segala posisi, tetapi kebanyakan jenis E 6013 sangat baik untuk posisi pengelesan tegak arah ke bawah. Jenis E 6012 umumnya dapat dipakai pada ampere yang relatif lebih tinggi dari E

6013. E 6013 yang mengandung lebih banyak Kalium memudahkan pemakaian pada voltage mesin yang rendah. Elektroda dengan diameter kecil kebanyakan dipakai untuk pengelasan pelat tipis.

3. E 6020

Elektroda jenis ini dapat menghasilkan penembusan las sedang dan teraknya mudah dilepas dari lapisan las. Selaput elektroda terutama mengandung oksida besi dan mangan. Cairan terak yang terlalu cair dan mudah mengalir menyulitkan pada pengelasan dengan posisi lain dari pada bawah tangan atau datar pada las sudut.

4. Elektroda dengan Selaput Serbuk Besi

Selaput elektroda jenis E 6027, E 7014, E 7018, E 7024 dan E 7028 mengandung serbuk besi untuk meningkatkan efisiensi pengelasan. Umumnya selaput elektroda akan lebih tebal dengan bertambahnya persentase serbuk besi. Dengan adanya serbuk besi dan bertambah tebalnya selaput akan memerlukan ampere yang lebih tinggi.

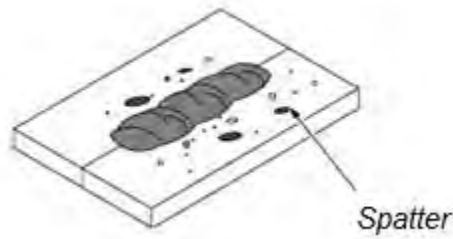
5. Elektroda Hydrogen Rendah

Selaput elektroda jenis ini mengandung hydrogen yang rendah (kurang dari 0,5 %), sehingga deposit las juga dapat bebas dari porositas. Elektroda ini dipakai untuk pengelasan yang memerlukan mutu tinggi, bebas porositas, misalnya untuk pengelasan bejana dan pipa yang akan mengalami tekanan Jenis-jenis elektroda hydrogen rendah misalnya E 7015, E 7016 dan E 7018.

2.2.4.7 Cacat Las

1. Spatter Berlebih

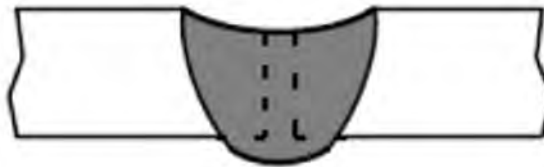
Spatter merupakan bintik-bintik kecil logam las akibat cairan elektroda yang ditetaskan berupa semprotan (spray).



Gambar 2.9 Spatter
Sumber : *hima-tl.ppns.ac.id*

2. Cacat las dengan penetrasi berlebih

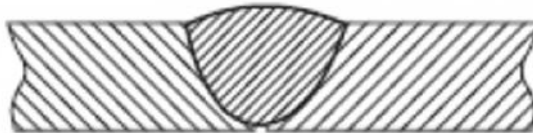
Cacat las jenis ini terjadi di mana logam las mencair melewati tebal benda kerja dan tergantung pada bagian bawah hasil pengelasan.



Gambar 2.10 Las yang mengalami penetrasi berlebih
Sumber : *hima-tl.ppns.ac.id*

3. Incomplete Penetration

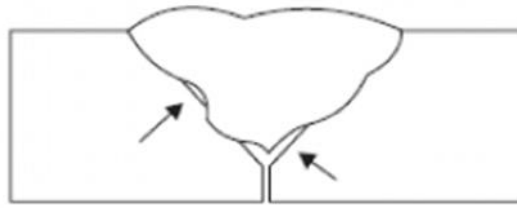
Cacat las jenis ini terjadi karena logam las gagal mencapai *root* (akar) dari sambungan dan gagal menyambungkan permukaan *root* secara menyeluruh. Hal ini disebabkan karena kesalahan dalam memilih ukuran elektroda, arus listrik yang terlalu kecil, dan rancangan sambungan yang kurang memadai. Kurang penetrasi sering dialami pada pengelasan posisi vertikal dan *overhead*. Pada gambar berikut nampak logam las tidak menutupi bagian bawah (akar) sambungan.



Gambar 2.11 Incomplete Penetration
Sumber : *hima-tl.ppns.ac.id*

4. Incomplete Fusion

Cacat las ini terjadi karena logam las dan benda kerja gagal menyatu. Cacat jenis ini bisa terjadi akibat benda kerja yang kurang panas atau permukaan benda kerja yang kurang bersih.



Gambar 2.12 Incomplete Fusion
 Sumber : hima-tl.ppns.ac.id

5. Slag Inclusion

Slag inclusion adalah salah satu jenis cacat pada las. *Slag inclusion* merupakan oksida dan benda non logam lainnya yang terjebak pada logam las. *Slag inclusion* bisa disebabkan oleh kontaminasi dari udara luar atau *slag* yang kurang bersih ketika mengelas dengan banyak lapisan (*multi pass*).



Gambar 2.13 Slag Inclusions
 Sumber : hima-tl.ppns.ac.id

6. Porosity

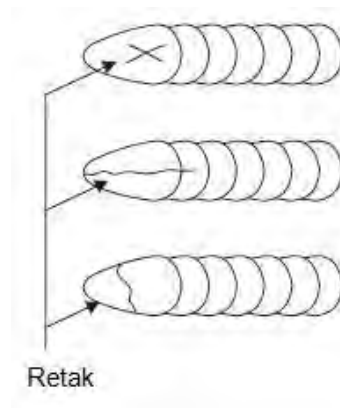
Porosity adalah salah satu jenis cacat pada las. *Porosity* merupakan sekelompok gelembung gas yang terjebak di dalam lasan. *Porosity* bisa terjadi karena proses pemadatan yang terlalu cepat. *Porosity* berupa rongga-rongga kecil berbentuk bola yang mengelompok pada lokasi-lokasi lasan. Terkadang terjadi rongga besar berbentuk bola yang tunggal atau tidak mengelompok. Rongga besar tersebut adalah *blow hole*.



Gambar 2.14 Porosity
 Sumber : hima-tl.ppns.ac.id

7. Retak (*Crack*)

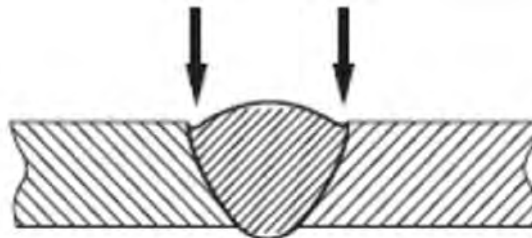
Retak adalah salah satu dari beberapa jenis cacat las. Retak merupakan putusnya benda kerja akibat tegangan. Retakan sering terjadi pada lasan maupun bagian benda kerja yang dekat dengan lasan. Retakan yang sering terjadi berupa retakan yang sangat sempit, walaupun tidak menutup kemungkinan terjadi retakan yang luas. Retakan dibagi dalam tiga jenis yakni: retakan panas, retakan dingin, dan *macrofissure*.



Gambar 2.15 Retak (crack)
Sumber : hima-tl.ppns.ac.id

8. Undercut

Undercut adalah salah satu jenis cacat las. *Undercut* merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan sebuah alur (*groove*) benda kerja yang mencair dan terletak pada tepi/kaki lasan (manik-manik las) di mana alur benda kerja yang mencair tersebut tidak terisi oleh cairan las. *Undercut* menyebabkan slag terjebak di dalam alur yang tidak terisi oleh cairan las.



Gambar 2.16 Undercut
Sumber : hima-tl.ppns.ac.id

2.2.4.8 WPS (*Welding Procedure Specification*)

Welding Procedure Specification (WPS) adalah dokumen formal yang menjelaskan/menguraikan mengenai prosedur pengelasan. Guna dari WPS adalah untuk memandu juru las pada prosedur las yang benar sehingga didalam mengelas ia selalu menggunakan teknik las yang benar dan telah terbukti dapat membuat las yang memenuhi persyaratan.

Variabel dalam WPS:

a. Variabel penting (*Essential variable*) :

Kondisi pengelasan yang terdapat didalam WPS yang memerlukan kualifikasi jika berbeda atau berubah dengan kondisi pengelasan actual.

Yang termasuk dalam essential variable :

Tipe logam dasar (base material)

Proses las (welding process)

Tipe las (type of weld)

Tebal & diameter (thickness & diameter)

Tipe arus las & polaritas (type of current & polarity)

Posisi las (welding position)

Pemanasan awal (preheating)

Pemanasan pasca pengelasan (PWHT)

b. Variabel tidak penting (*Non essential variable*) :

Kondisi pengelasan yang terdapat didalam WPS tetapi (yang) tidak memerlukan kualifikasi jika berbeda atau berubah dengan kondisi pengelasan actual.

Yang termasuk dalam non essential variable :

Bentuk kampuh las (type of weld joint)

Tegangan busur (arc voltage)

Arus las (welding amperage)

Kecepatan las (travel speed)

Diameter kawat las (diameter of welding consumables)

Metode gouging (gouging method)

Metode persiapan dan pembersihan (method of preparation and cleaning)

2.2.5 Pengujian Radiografi

Dalam pekerjaan pengelasan perlu dilakukan pengujian dan pemeriksaan hasil las. Hal ini dilakukan untuk menjaga dan mengawasi kualitas hasil las. Adanya cacat las yang timbul dikuatirkan dapat menurunkan kekuatan hasil las. Oleh karena itu, pendeteksian cacat las perlu dilakukan. Uji radiografi merupakan salah satu cara mendeteksi cacat las di dalam logam atau las. Pengujian dengan metode ini memiliki keuntungan dan kekurangan yaitu: (Hendroprasetyo, 2006)

Keuntungan antara lain:

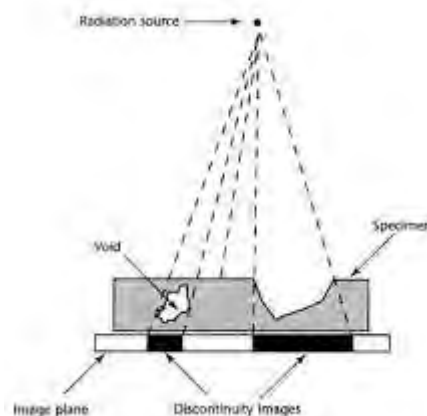
1. Mampu mendeteksi cacat internal.
2. Mampu memeriksa material logam dan non-logam.
3. Mampu memeriksa raw material dan hasil las.
4. Mampu menghasilkan rekaman permanen dari komponen.

Kekurangan antara lain:

1. Harga peralatan dan biaya operasional relatif mahal.
2. Bahaya radiasi.
3. Waktu set-up lama.
4. Cacat planar sulit dideteksi.
5. Diperlukan akses dari kedua sisi komponen.

2.2.5.1 Prinsip kerja

Uji radiografi adalah pengujian yang tak merusak yang digunakan untuk mengetahui cacat di dalam las. Pengujian radiografi pada dasarnya adalah penyinaran benda uji (spesimen) dengan sinar elektromagnetik seperti sinar X atau sinar gamma yang dapat menembus material. Perhatikan gambar (2.13). Material ditempatkan diantara sumber radiasi dan film. Ketebalan dan berat jenis suatu material sangat mempengaruhi terhadap jumlah radiasi yang diberikan.



Gambar 2.17 Radiografi Test
 Sumber : nondestes.blogspot.co.id

2.2.6 Risk Analysis

Analisis resiko atau *risk analysis* dapat diartikan sebagai sebuah prosedur untuk mengenali satu ancaman dan kerentanan, kemudian menganalisanya untuk memastikan hasil pembongkaran, dan menyoroti bagaimana dampak-dampak yang ditimbulkan dapat dihilangkan atau dikurangi. Analisis resiko juga dipahami sebagai sebuah proses untuk menentukan pengamanan macam apa yang cocok atau layak untuk sebuah sistem atau lingkungan (ISO 1799, “An Introduction To Risk Analysis”, 2012).

2.2.7 Diagram Pareto

Diagram Pareto adalah sebuah diagram batang yang dipadukan dengan diagram garis untuk merepresentasikan suatu parameter yang di ukur (bisa berupa frekuensi kejadian atau nilai tertentu) sehingga dapat diketahui parameter dominan. Diagram batang menunjukkan nilai aktual sedangkan diagram garis menunjukkan nilai prosentase kumulatif dari setiap parameter yang ditinjau. Nama Pareto berasal dari penemunya yaitu Vilfredo Pareto.

Diagram pareto sendiri sering digunakan sebagai tool untuk mencari penyebab atau faktor dominan dari suatu masalah. Dalam proses produksi, sering kali kita menemukan banyak masalah yang berpengaruh terhadap cost, loss, machine efficiency dan lain sebagainya. Untuk mengatasi masalah tersebut kita tidak harus memukul rata dan menyelesaikan semua masalah tersebut secara bersamaan. Melainkan kita harus menyelesaikan dari faktor dominannya terlebih dahulu. Dengan pareto chart, kita bisa melihat manakah faktor dominan tersebut. Menurut Pareto, untuk menentukan faktor dominan kita dapat menggunakan prinsip 80-20. Artinya, 80% dari akumulasi prosentase faktor adalah merupakan faktor dominan yang harus diprioritaskan sedangkan sisanya adalah kemudian. Dengan menyelesaikan faktor dominan tersebut, akan dapat mengatasi masalah dengan signifikan.

2.2.8 Fishbone Diagram

Fishbone diagram (diagram tulang ikan — karena bentuknya seperti tulang ikan) sering juga disebut *Cause-and-Effect Diagram* atau *Ishikawa Diagram* diperkenalkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa, seorang ahli pengendalian kualitas dari Jepang, sebagai satu dari tujuh alat kualitas dasar (*7 basic quality tools*). *Fishbone diagram* digunakan ketika kita ingin mengidentifikasi kemungkinan penyebab masalah dan terutama ketika sebuah *team* cenderung jatuh berpikir pada rutinitas.

Suatu tindakan dan langkah *improvement* akan lebih mudah dilakukan jika masalah dan akar penyebab masalah sudah ditemukan. Manfaat *fishbone diagram* ini dapat menolong kita untuk menemukan akar penyebab masalah secara *user*

friendly, tools yang *user friendly* disukai orang-orang di industri manufaktur di mana proses di sana terkenal memiliki banyak ragam variabel yang berpotensi menyebabkan munculnya permasalahan.

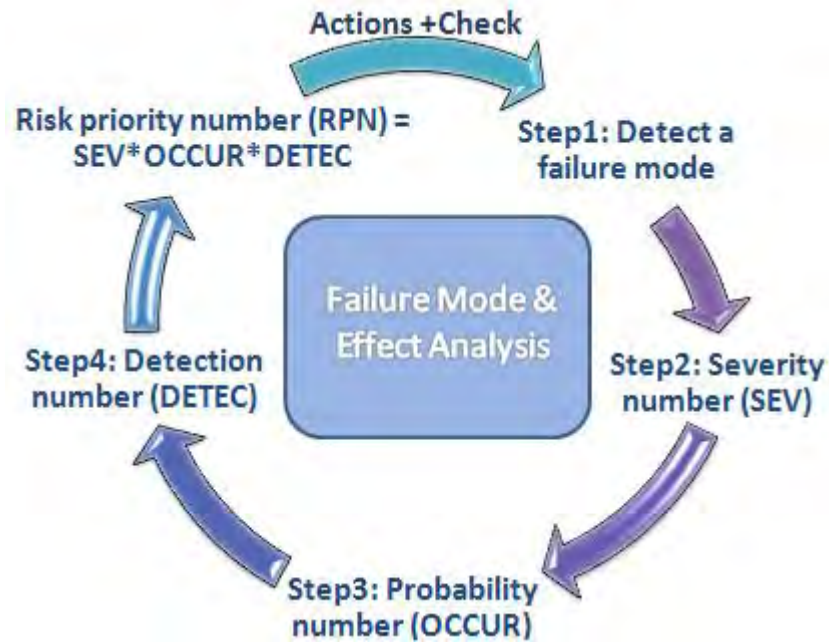
Fishbone diagram akan mengidentifikasi berbagai sebab potensial dari satu efek atau masalah, dan menganalisis masalah tersebut melalui sesi *brainstorming*. Masalah akan dipecah menjadi sejumlah kategori yang berkaitan, mencakup manusia, material, mesin, prosedur, kebijakan, dan sebagainya. Setiap kategori mempunyai sebab-sebab yang perlu diuraikan melalui sesi *brainstorming*.

Kategori sebab utama mengorganisasikan sebab sedemikian rupa sehingga masuk akal dengan situasi. Kategori yang digunakan adalah Kategori *6M* yang biasa digunakan dalam industri manufaktur:

1. *Machine* (mesin atau teknologi),
2. *Method* (metode atau proses),
3. *Material* (termasuk *raw material*, *consumption*, dan informasi),
4. *Man Power* (tenaga kerja atau pekerjaan fisik) / *Mind Power* (pekerjaan pikiran: *kaizen*, saran, dan sebagainya),
5. *Measurement* (pengukuran atau inspeksi), dan
6. *Milieu / Mother Nature* (lingkungan).

2.2.9 FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*)

FMEA adalah metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan cacat potensial berdasarkan tingkat keparahan, frekuensi yang diharapkan dan kemungkinan deteksi. Tujuannya adalah untuk mengantisipasi masalah sehingga langkah-langkah proaktif dapat diambil untuk melawan mereka dan dengan demikian mengurangi atau menghilangkan risiko.



Gambar 2.18 Langkah-langkah FMEA
 Sumber : brighthubpm.com

Terdapat lima tipe FMEA yang bisa diterapkan dalam sebuah industri manufaktur, yaitu:

- *System*, berfokus pada fungsi sistem secara global
- *Design*, berfokus pada desain produk
- *Process*, berfokus pada proses produksi, dan perakitan
- *Service*, berfokus pada fungsi jasa
- *Software*, berfokus pada fungsi *software*

Berikut ini adalah tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan dengan penerapan FMEA:

- Untuk mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat keparahan efeknya
- Untuk mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan
- Untuk mengurutkan pesanan desain potensial dan defisiensi proses

- Untuk membantu fokus engineer dalam mengurangi perhatian terhadap produk dan proses, dan membantu mencegah timbulnya permasalahan.

Dari penerapan FMEA pada perusahaan, maka akan dapat diperoleh keuntungan – keuntungan yang sangat bermanfaat untuk perusahaan, (*Ford Motor Company, 1992*) antara lain:

- Meningkatkan kualitas, keandalan, dan keamanan produk
- Membantu meningkatkan kepuasan pelanggan
- Meningkatkan citra baik dan daya saing perusahaan
- Menurangi waktu dan biaya pengembangan produk
- Memperkirakan tindakan dan dokumen yang dapat mengurangi resiko

2.2.9.1 Process FMEA (PFMEA)

PFMEA merupakan salah satu tipe dari FMEA. PFMEA mengutamakan analisis moda kegagalan melalui proses produksi, dan tidak bergantung pada perubahan desain produk yang dapat menyebabkan kegagalan pada suatu proses.

PFMEA biasanya diselesaikan menurut pertimbangan tenaga kerja, mesin, metode, material, pengukuran, dan lingkungan. Setiap komponen-komponen tersebut memiliki komponen masing-masing, yang bekerja secara individu, bersama, atau bahkan merupakan sebuah interaksi untuk menghasilkan sebuah kegagalan. (Puspitasari, 2014)

2.2.9.2 Risk Priority Number (RPN)

Nilai ini merupakan produk dari hasil perkalian tingkat keparahan, tingkat kejadian, dan tingkat deteksi. RPN menentukan prioritas dari kegagalan. RPN tidak memiliki nilai atau arti, nilai tersebut digunakan untuk meranking kegagalan proses yang potensial.

Nilai RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RPN = severity \times occurrence \times detection \quad (2.1)$$

Severity (Tingkat Keparahan) adalah penilaian terhadap keseriusan dari efek yang ditimbulkan. Dalam arti setiap kegagalan yang timbul akan dinilai seberapa besarkah tingkat keseriusannya. Terdapat hubungan secara langsung antara efek dan *severity*. sebagai contoh, apabila efek yang terjadi adalah efek yang kritis, maka nilai *severity* pun akan tinggi. Untuk klasifikasi ranking *severity* dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Klasifikasi Ranking *Severity*

<i>Rangking</i>	Klasifikasi
1	Tidak ada
2	Sangat sedikit
3	Sedikit
4	Sangat rendah
5	Rendah
6	Sedang
7	Tinggi
8	Sangat tinggi
9	Sangat Tinggi (Ekstrim)
10	Berbahaya

Occurance (Tingkat Kejadian) adalah kemungkinan bahwa penyebab tersebut akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa penggunaan produk. *Occurance* merupakan nilai rating yang disesuaikan dengan frekuensi yang diperkirakan dan atau angka kumulatif dari kegagalan yang dapat terjadi atau tingkat keseringan suatu masalah yang terjadi karena penyebab kegagalan. Untuk kriteria ranking *occurance* dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Klasifikasi Ranking *Occurance*

<i>Ranking</i>	Kriteria
2	Kemungkinan rendah
4	Kemungkinan sedang

6	Kemungkinan kejadian tinggi
8	Kemungkinan sangat tinggi
10	Berbahaya

Detection (Metode Deteksi) adalah pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan/mengontrol kegagalan yang dapat terjadi atau merupakan penaksiran kemungkinan dari proses kontrol yang sedang berjalan. Untuk kriteria ranking *Detection* dapat dilihat pada tabel 2.4

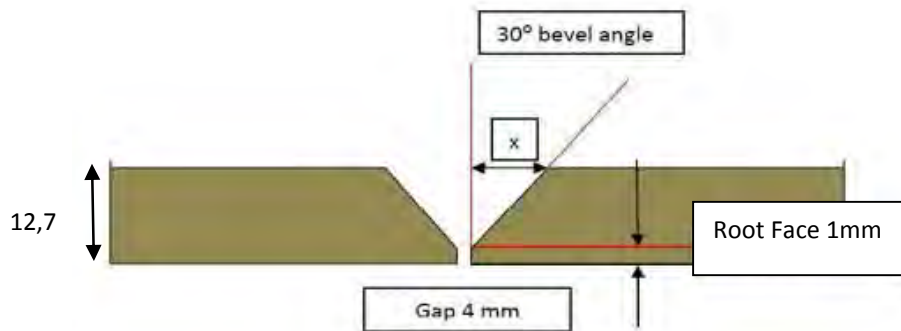
Tabel 2.4 Klasifikasi Ranking *Detection*

<i>Rangking</i>	Klasifikasi
1	Hampir pasti
2	Sangat tinggi
3	Tinggi
4	Tinggi sedang
5	Sedang
6	Rendah
7	Sangat rendah
8	Jauh
9	Sangat jauh
10	Tidak diketahui

2.2.10 Perhitungan Nilai Ekonomis

2.2.10.1 Konsumsi Elektroda

Kawat las atau yang sering disebut dengan elektroda adalah suatu material yang digunakan untuk melakukan pengelasan listrik yang berfungsi sebagai pembakar yang akan menimbulkan busur nyala. Perhitungan elektroda merupakan salah satu faktor yang perlu diperhatikan, karena jika tidak maka pemakaian elektroda akan membengkak yang menyebabkan biaya proyek semakin tinggi.



Gambar 2.19 Skema Pengelasan
Sumber : hazwelding.wordpress.com

Langkah-langkah menghitung konsumsi elektroda untuk *root pass*:

1. Tentukan volume area dari Gap/root opening sampai ke capingnya. Disini jangan dimasukkan area yang daerah bevel.
2. Tentukan volume daerah bevel kiri dan kanan.
3. Total semua area (V) menjadi = Volume Area (Root – Caping) + Volume daerah bevel (kiri dan kanan) (2.2)

$$4. \quad = m/v, \quad (2.3)$$

steel = 7.8 gr/cm³ dan

$$m = \quad * v \quad (2.4)$$

$$= 7.8 * v = A \text{ gr} = A \text{ kg}$$

Tabel 2.5 Effisiensi Faktor

Process	Efficiency factor
Submerged arc welding (SAW)	1.0
Manual metal arc (MMA)/Shielded metal arc welding (SMAW)	0.8
Cored wire welding/Flux cored arc welding (FCAW)	0.8
Metal active gas/Metal inert gas (MAG/MIG)/Gas metal arc welding (GMAW)	0.8
Tungsten inert gas (TIG)/Gas tungsten arc welding (GTAW)	0.6
Plasma arc welding	0.6

5. Eff kawat 60% (GTAW) berarti berat yang dibutuhkan adalah
 $0.6 X = A \text{ Kg}, \quad (2.5)$

berapa X? = $A/0,6 \text{ Kg}$

6. Jadi kawat las yang dibutuhkan untuk pengelasan ini adalah $A/0,6 \text{ Kg}$

Langkah-langkah untuk menghitung konsumsi elektroda untuk *hot pass – cap pass*:

1. Untuk menghitung bagian ini menggunakan pendekatan jajar genjang yaitu menggunakan rumus luas jajar genjang:

$$A = a \times t \quad (2.6)$$

Ket :

a = Alas (mm)

t = Tinggi (mm)

2. Menghitung Volume las dengan rumus :

$$V = A \times L \quad (2.7)$$

Ket :

A = Luas Area (mm²)

L = Panjang daerah las-lasan (mm)

3. Volume las dikalikan 2, agar mendapatkan hasil volume dua bevel.
4. Menghitung kawat las yang dibutuhkan dengan rumus :

$$\rho = m/V \quad (2.8)$$

$$m = \rho \times V = B \text{ gr} = B \text{ kg}$$

Ket :

$$\rho = \text{massa jenis} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$m = \text{massa gr}$$

$$V = \text{Volume (cm}^3\text{)}$$

5. Eff kawat 80% (FCAW) berarti berat yang dibutuhkan adalah
 $0.6 X = B \text{ Kg}, \quad (2.9)$
 berapa X? = B/0,8 Kg
6. Jadi kawat las yang dibutuhkan untuk pengelasan ini adalah B/0,8 Kg

2.2.10.2 Biaya Proyek Pengelasan

Didalam proyek konstruksi pada umumnya biaya produksi dipengaruhi oleh biaya material, biaya tenaga kerja/ sumber daya manusia, biaya overhead. Dari faktor yang sudah disebut diatas penulis hanya menganalisa faktor biaya yang

berkaitan dengan pengelasan saja. Dalam hal ini disebabkan teknik penyambungan dengan teknologi pengelasan sangat berkembang pada masa ini.

Secara umum diketahui data-data teknik dalam proses pengelasan adalah sebagai berikut:

- Operator Factor (OF) adalah kerja sesungguhnya dari seorang welder untuk mendepositkan lasan kesambungan. Artinya kerja dihitung hanya ketika api las menyala.
- Effisiensi Consumables (EC) adalah kilogram logam las yang dihasilkan dari kilogram elektroda yang digunakan untuk mendapatkan efisiensi yang lebih besar.
- Deposition Rate (DR) adalah jumlah lasan yang dihasilkan oleh welder dalam satuan waktu, dimana akan berdampak langsung pada kecepatan pengelasan.
- Groove Angle (Joint) adalah besarnya sudut sambungan yang harus dipersiapkan.

Tabel 2.6 Perhitungan efisiensi

	SMAW	GTAW	FCAW
<i>OF</i>	30%	50%	45%
<i>EC</i>	80%	60%	80%
<i>DR</i>	1,7 kg/jam	3 kg/jam	3,9kg/jam
Groove	60 ⁰	60 ⁰	60 ⁰

Sedangkan fungsi-fungsi ekonomis yang harus diperhatikan dari pengelasan adalah sebagai berikut:

- Labor Cost adalah biaya / upah yang dibayarkan selama jam kerja resmi yaitu selama 8 jam.
- Overhead Cost adalah biaya yang timbul diluar biaya upah dan material yang terdiri dari komponen-komponen
- Weld metal cost adalah biaya penggunaan banyak elektroda las yang digunakan,

Tabel 2.7 Formula perhitungan biaya

BIAYA	RUMUS	NILAI
PEGAWAI DAN OVERHEAD	BIAYA GAJI DAN OVERHEAD/JAM DEPOSITION RATE X OPERATING FACTOR	
KAWAT LAS	HARGA KAWAT LAS PER KG DEPOSITION EFFICIENCY	
TOTAL BIAYA		

2.2.11 Depresiasi

Depresiasi atau penyusutan dalam akuntansi adalah alokasi sistematis jumlah yang dapat disusutkan dari suatu asset selama umur manfaatnya. Penerapan depresiasi akan memengaruhi laporan keuangan, termasuk penghasilan kena pajak suatu perusahaan.

Ada juga yang berpendapat Depresiasi adalah penurunan dalam nilai fisik properti seiring dengan waktu dan penggunaannya. Dalam konsep akuntansi, depresiasi adalah pemotongan tahunan terhadap pendapatan sebelum pajak sehingga pengaruh waktu dan penggunaan atas nilai aset dapat terwakili dalam laporan keuangan suatu perusahaan. Depresiasi adalah biaya non-kas yang berpengaruh terhadap pajak pendapatan.

$$\text{Biaya Depresiasi Tahunan} = \frac{\text{Biaya Aktiva Tetap} - \text{Nilai Sisa}}{\text{Umur Manfaat Aset(tahun)}} \quad (2.10)$$

Keterangan:

Biaya Aktiva Tetap : Biaya awal untuk mendapatkan aset (harga beli ditambah pajak).

Nilai Sisa : Perkiraan nilai aset pada akhir umur manfaatnya, merupakan harga jual suatu aset jika tidak lagi digunakan untuk proses produksi oleh pemiliknya.

Umur Manfaat : Perkiraan periode waktu pemakaian aset (properti) dalam kegiatan produktif atau untuk menghasilkan pendapatan.

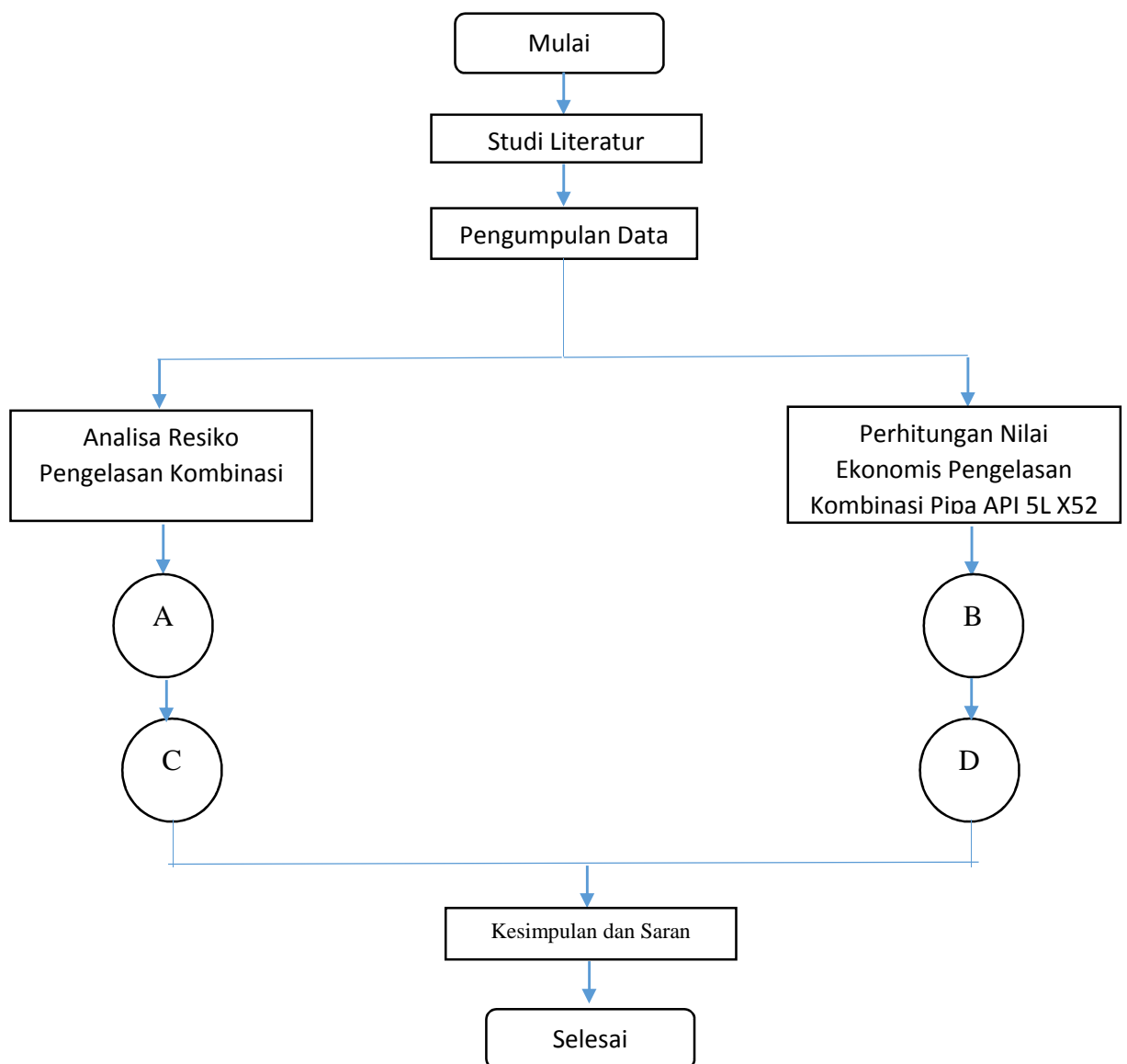
(halaman ini sengaja dikosongkan)

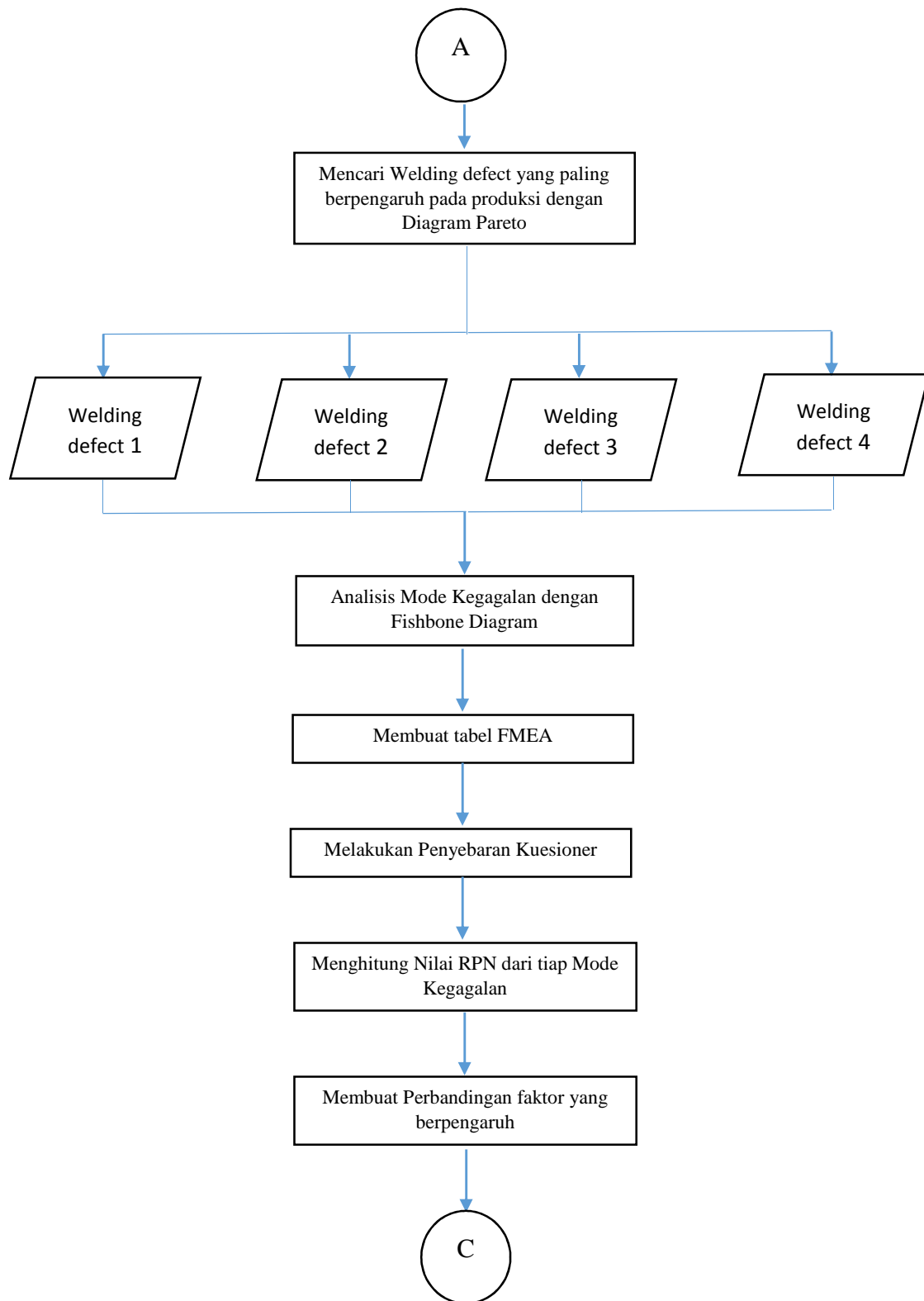
BAB III

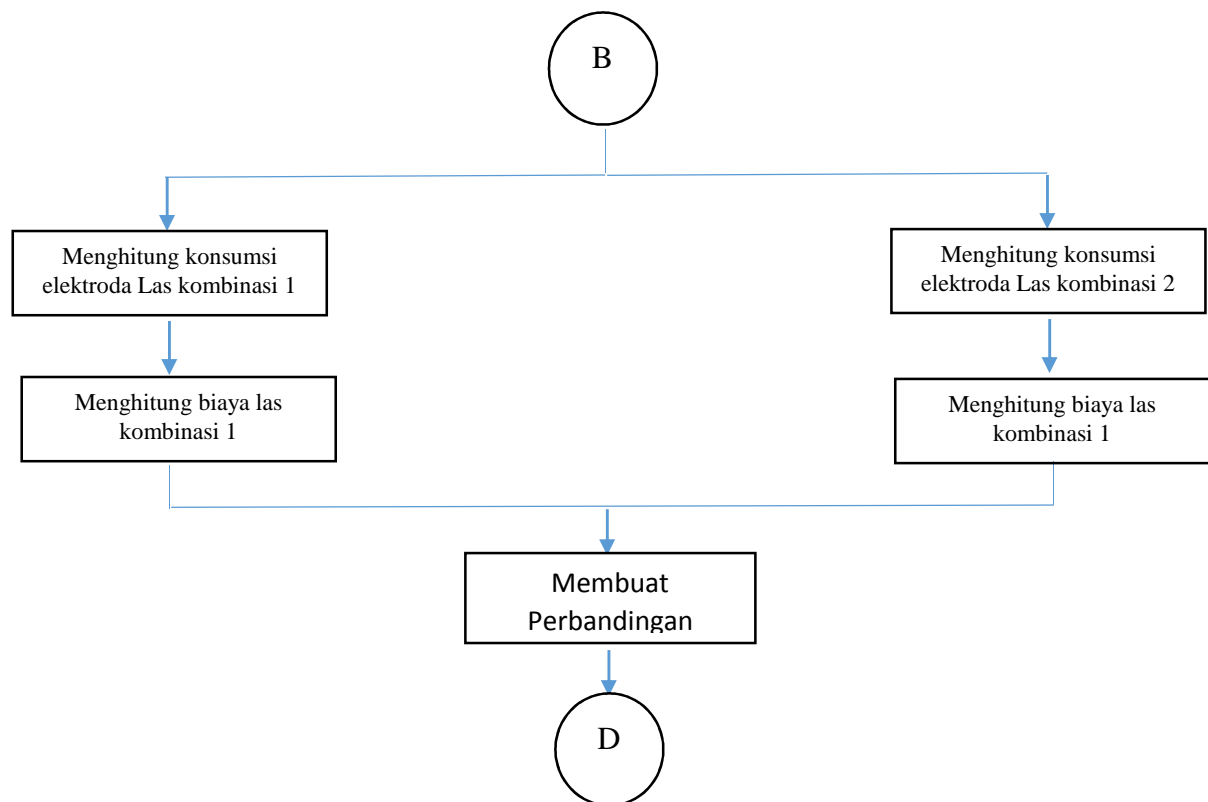
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian tugas akhir yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah dapat dijelaskan melalui diagram alir atau flowchart di bawah ini:







Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian
 Sumber : Dok. Pribadi

3.2 Penjelasan Diagram Alir Penelitian

Dari diagram alir diatas, maka dapat diuraikan langkah-langkah pengerjaan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur berguna sebagai pendukung teori pada tugas akhir ini dan sebagai pengembangan wawasan dan analisa

Adapun studi literatur yang diperlukan antara lain:

- a. Studi mengenai material.
- b. Studi mengenai proses fabrikasi.
- c. Studi mengenai pengelasan.
- d. Studi mengenai *risk analysis*.
- e. Studi mengenai *Diagram Pareto*.
- f. Studi mengenai *Fishbone Diagram*.
- g. Studi mengenai *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA).

- h. Studi mengenai konsumsi elektroda.
- i. Studi mengenai biaya pengelasan.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan di PT. X. Data yang diperlukan antara lain:

- a. Data report inspeksi *Radiography Test* (RT) selama 11 bulan.
- b. Data survey harga dan survey penyebab cacat las (*brainstorming*).
- c. Data WPS (*Welding Procedure Specification*)

3. Analisa Resiko Pengelasan Kombinasi

- Mencari *welding defect* yang paling berpengaruh dengan diagram pareto dengan mengolah data report inspeksi RT selama 11 bulan.
- Mendapatkan 4 jenis *welding defect* yang paling berpengaruh yang didapatkan dari pengolahan data diagram pareto.
- Analisis mode kegagalan dengan menggunakan *fishbone diagram* dari setiap *welding defect*.
- Membuat tabel FMEA dan melakukan penyebaran kuesioner untuk mendapatkan nilai *severity*, *occurance*, dan *detection*.
- Menghitung nilai RPN lalu membuat ranking dari setiap *welding defect*.
- Membuat perbandingan dari setiap faktor yang mempengaruhi *welding defect*.

4. Perhitungan Nilai Ekonomis pada pengelasan kombinasi Pipa API 5L X52

- Menghitung konsumsi elektroda las kombinasi 1 dan 2.
- Menghitung biaya las kombinasi 1 dan 2.
- Membuat perbandingan antara 2 las kombinasi yang berbeda.

5. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap akhir penelitian dibutuhkan analisa dari pengolahan data yang telah dilakukan. Dengan adanya kesimpulan dari penelitian maka dapat

disusun saran-saran yang berguna sebagai peningkatan kinerja perusahaan dan sebagai referensi pada penelitian yang selanjutnya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

4.1.1 Data report inspeksi *Radiography Test* (RT)

Dalam tugas akhir ini menggunakan data report inspeksi selama 11 bulan dengan menggunakan *Radiography Test* (RT) untuk pengelasan kombinasi yang didapat dari PT. X. Data yang diperoleh digunakan untuk analisa resiko pada pengelasan kombinasi.

Tabel 4.1 *Report Weld Repair* selama 11 bulan

<u>NO.</u>	<u>MONTH</u>	<u>FILM SHEET</u>	<u>WELD REPAIR</u>	<u>REPAIR RATE</u>
1	JANUARY	625	12	1,92%
2	FEBRUARY	564	6	1,06%
3	MARCH	286	2	0,70%
4	APRIL	492	11	2,24%
5	MAY	493	3	0,61%
6	JUNE	359	2	0,56%
7	JULY	356	1	0,28%
8	AUGUST	90	0	0,00%
9	SEPTEMBER	220	0	0,00%
10	OCTOBER	541	8	1,48%
11	NOVEMBER	407	3	0,74%
TOTAL		4433	48	

Selain itu diperoleh juga data jenis welding defect dan jumlah defect, data diketahui setelah mengetahui data report inspeksi selama 11 bulan.

Tabel 4.2 *Report Welding Defect*

NO	WELDING DEFECT	TOTAL
1	Porosity	14
2	Incomplete Fusion	10
3	Incomplete Penetration	11
4	Slag Inclusion	8
5	Tungsten Inclusion	1
6	Undercut	3
7	Crack	0
8	Others	1
TOTAL		48

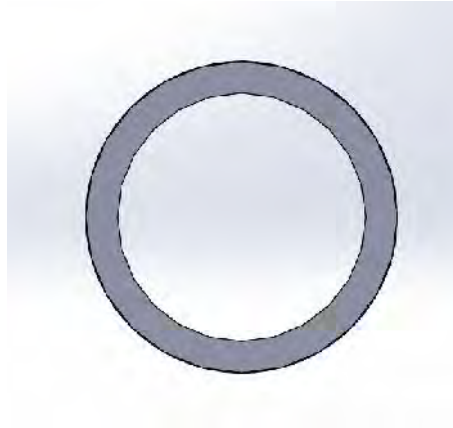
4.1.2 Data Material

Dalam tugas akhir ini material yang dipakai adalah Pipa API 5L X52, spesifikasi material didapat dari PT. X. Spesifikasi material sebagai berikut :

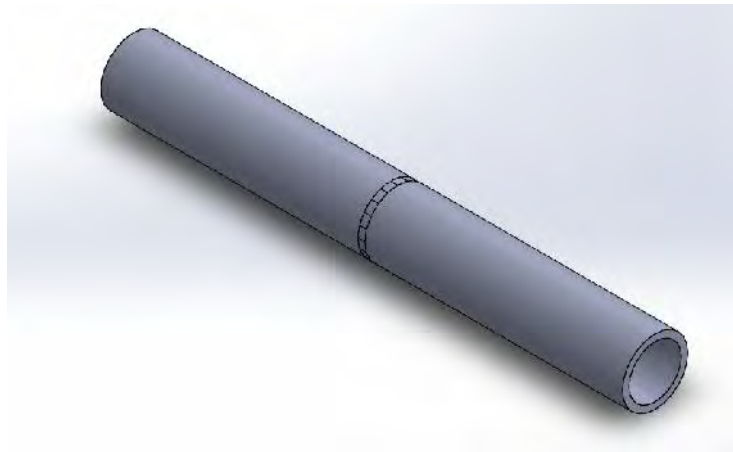
Tabel 4.3 Spesifikasi Material (*API Spec 5L*)

Property	Value	Unit
Pipeline Thickness (<i>t</i>)	12,7	<i>mm</i>
Pipe Outside Diameter (OD)	219,1	<i>mm</i>
Pipe Inside Diameter (<i>d</i>)	193,675	<i>mm</i>
Pipeline Material & Grade	API 5L Gr. X52	
SMYS	391	<i>mpa</i>

Dari spesifikasi material yang ada, dapat dibuat permodelan material menggunakan software *solidwork* sebagai berikut



Gambar 4.1 Permodelan Pipa Tampak Samping
Sumber : Dok. Pribadi



Gambar 4.2 Permodelan Pipa Tampak Atas
Sumber : Dok. Pribadi

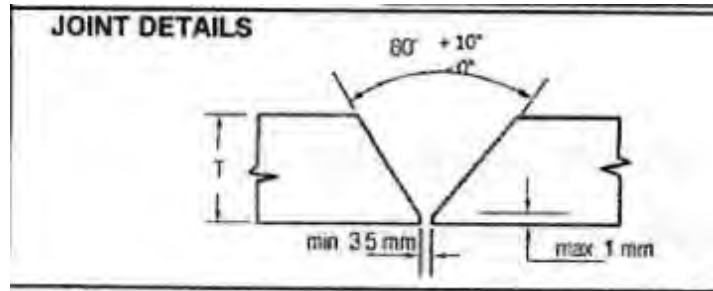
4.1.3 Data WPS (*Welding Procedure Specification*)

Welding Procedure Specification (WPS) adalah dokumen formal yang menjelaskan/menguraikan mengenai prosedur pengelasan. Guna dari WPS adalah untuk memandu juru las pada prosedur las yang benar sehingga didalam mengelas ia selalu menggunakan teknik las yang benar dan telah terbukti dapat membuat las yang memenuhi persyaratan.

Dalam tugas akhir ini didapatkan WPS dari 2 pengelasan kombinasi dengan base material dan spesifikasi yang sama, untuk kombinasi

pertama digunakan metode pengelasan GTAW + FCAW dan untuk kombinasi kedua digunakan metode pengelasan SMAW + FCAW.

Data WPS diperoleh dari PT. X dengan nomor dokumen GE-180-WPS (Lampiran D) untuk kombinasi pertama dan GE-168-WPS (Lampiran D) untuk kombinasi kedua, dengan parameter sebagai berikut:



Gambar 4.3 Detail Joint

Sumber : WPS

Tabel 4.4 Parameter Pengelasan GE-180-WPS

WELDING PARAMETERS										
Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (Kj /mm)	Shielding Gas	
		Class	Dia. (mm)	Type & Polarity	Amps (A)				Type	Flow Rate (LPM)
Root	GTAW	ER 70S-G	2.0	DCEN	120 ~ 170	9 ~ 15	35 ~ 50	1.5 ~ 2.8	Ar	10 ~ 20
Hot	FCAW	E71T-9C-J	1.2	DCEP	170 ~ 200	18 ~ 25	55 ~ 70	2.2 ~ 4.0	CO2	10 ~ 20
Fill	FCAW	E71T-9C-J	1.2	DCEP	190 ~ 220	21 ~ 28	70 ~ 90	2.2 ~ 4.0	CO2	10 ~ 20
Cap	FCAW	E71T-9C-J	1.2	DCEP	170 ~ 220	22 ~ 30	70 ~ 110	2.0 ~ 4.0	CO2	10 ~ 20

Tabel 4.5 Parameter Pengelasan GE-168-WPS

WELDING PARAMETERS										
Pass or Weld Layer(s)	Process	Filler Metals		Current		Volts (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (Kj /mm)	Shielding Gas	
		Class	Dia. (mm)	Type & Polarity	Amps (A)				Type	Flow Rate (LPM)
Root	GTAW	ER 70S-G	2.0	DCEN	120 ~ 170	9 ~ 15	35 ~ 50	1.5 ~ 2.8	Ar	10 ~ 20
Hot	FCAW	E71T-9C-J	1.2	DCEP	170 ~ 200	18 ~ 25	55 ~ 70	2.2 ~ 4.0	CO2	10 ~ 20
Fill	FCAW	E71T-9C-J	1.2	DCEP	190 ~ 220	21 ~ 28	70 ~ 90	2.2 ~ 4.0	CO2	10 ~ 20
Cap	FCAW	E71T-9C-J	1.2	DCEP	170 ~ 220	22 ~ 30	70 ~ 110	2.0 ~ 4.0	CO2	10 ~ 20

4.1.4 Data Survey

Data survey pada tugas akhir ini digunakan untuk mencari tahu harga dari apa saja yang dibutuhkan guna menunjang perhitungan nilai ekonomis :

1. Upah kerja petugas las (Wilayah Surabaya)

Tabel 4.6 Upah Pekerja 2016

No	Kualifikasi Pekerja	2016
1	Pekerja/Knek	130.200
2	Tukang Gali	149.730
3	Kepala Tukang Batu	164.052
4	Tukang Batu	149.730
5	Kepala Tukang Kayu	164.052
6	Tukang Kayu	149.730
7	Kepal Tukang Besi	164.052
8	Tukang Besi	149.730
9	Kepala Tukang Cat	164.052
10	Tukang Cat	149.730
11	Tukang Aspal	130.200
12	Mandor/Pengawas	174.468
13	Instalator	164.052
14	Pembantu Instalator	149.730
15	Tukang Babat Rumput	130.200
16	Kepala Tukang Pasang Pipa/Ledeng	149.730
17	Tukang Pasang Pipa	130.200
18	Operator Alat Berat	174.468
19	Pembantu Operator Alat Berat	149.730
20	Tukang Las	149.730

Dari tabel 4.5 diatas bisa dilihat bahwa upah pekerja tukang las per harinya adalah sebesar Rp 149.730,-

a. Mesin las dan kelengkapannya

Dari data survey yang saya dapatkan bahwa harga penyewaan mesin las dan kelengkapannya per hari adalah sebesar Rp 350.000,-

b. Listrik (Tahun 2016)

Untuk harga listrik per kwh yang terbaru adalah sebesar Rp 1342,-

c. Kawat Las

Dari data survey yang saya dapatkan untuk harga elektroda per kg adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Harga Elektroda

No	Metode Las	Elektroda	Brand	Harga	Unit
1	GTAW	ER 70S-G	TGS-S50 (Kobe)	Rp 70.000	Rp/kg
2	SMAW	E7016	LB-52U (Kobe)	Rp 36.000	Rp/kg
3	FCAW	E71T-9C-J	Dual Shield II 71HI (ESAB)	Rp 13.500	Rp/kg

4.2 Analisa Risiko Pengelasan Kombinasi

4.2.1 Diagram Pareto

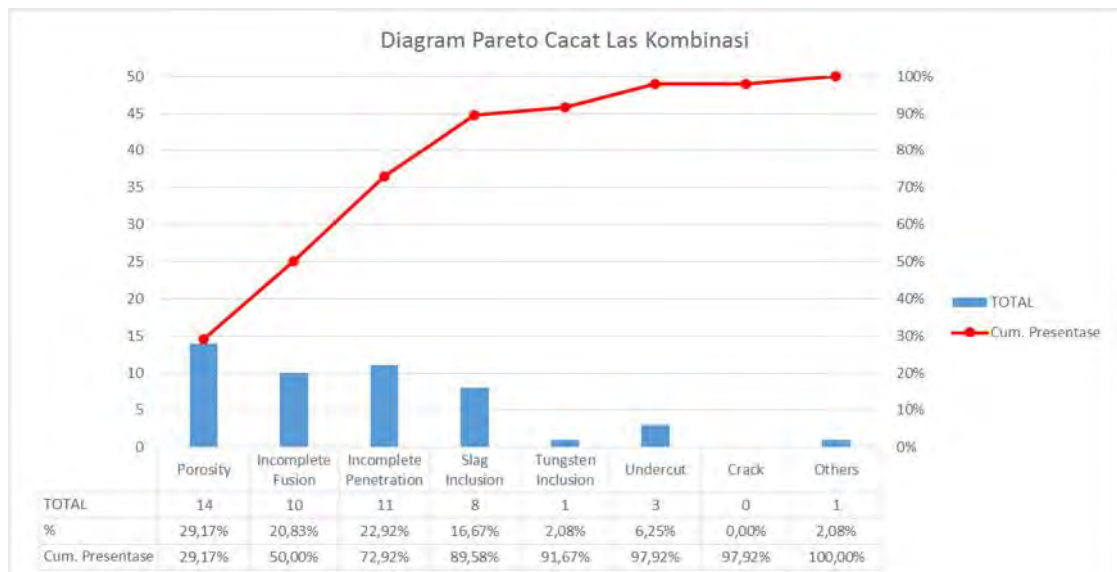
Dengan diagram pareto, bisa melihat manakah faktor dominan tersebut. Menurut Pareto, untuk menentukan faktor dominan kita dapat menggunakan prinsip 80-20. Artinya, 80% dari akumulasi prosentase faktor adalah merupakan faktor dominan yang harus diprioritaskan sedangkan sisanya adalah kemudian.

Setelah mengetahui report inspeksi las selama 11 bulan dan *welding defect report*, selanjutnya dapat diolah dengan menggunakan diagram pareto agar didapat faktor yang dominan.

Tabel 4.8 Cumulative Presentase Welding Defect

NO	WELDING DEFECT	TOTAL	%	Cum. Presentase
1	Porosity	14	29,17%	29,17%
2	Incomplete Fusion	10	20,83%	50,00%
3	Incomplete Penetration	11	22,92%	72,92%
4	Slag Inclusion	8	16,67%	89,58%
5	Tungsten Inclusion	1	2,08%	91,67%
6	Undercut	3	6,25%	97,92%
7	Crack	0	0,00%	97,92%
8	Others	1	2,08%	100,00%
TOTAL		48	100,00%	

Selanjutnya dari tabel diatas dapat dibuat diagram pareto sebagai berikut :



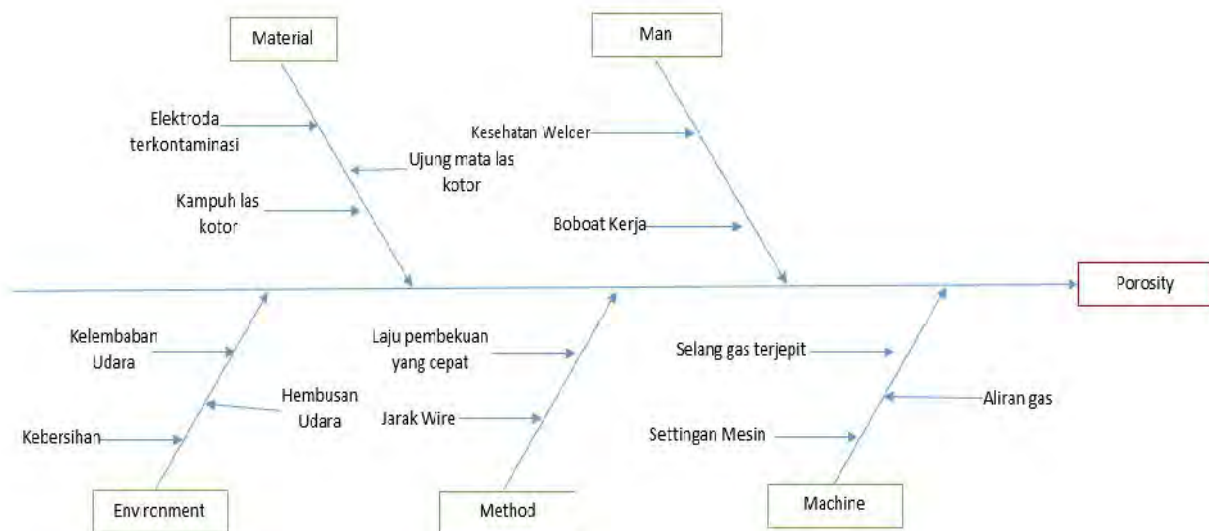
Gambar 4.4 Diagram Pareto Cacat Las Kombinasi

Karena 80% dari akumulasi prosentase faktor adalah merupakan faktor dominan, maka didapat faktor dominan dari Cacat las kombinasi antara lain Porosity, incomplete fusion, incomplete penetration, dan slag inclusion.

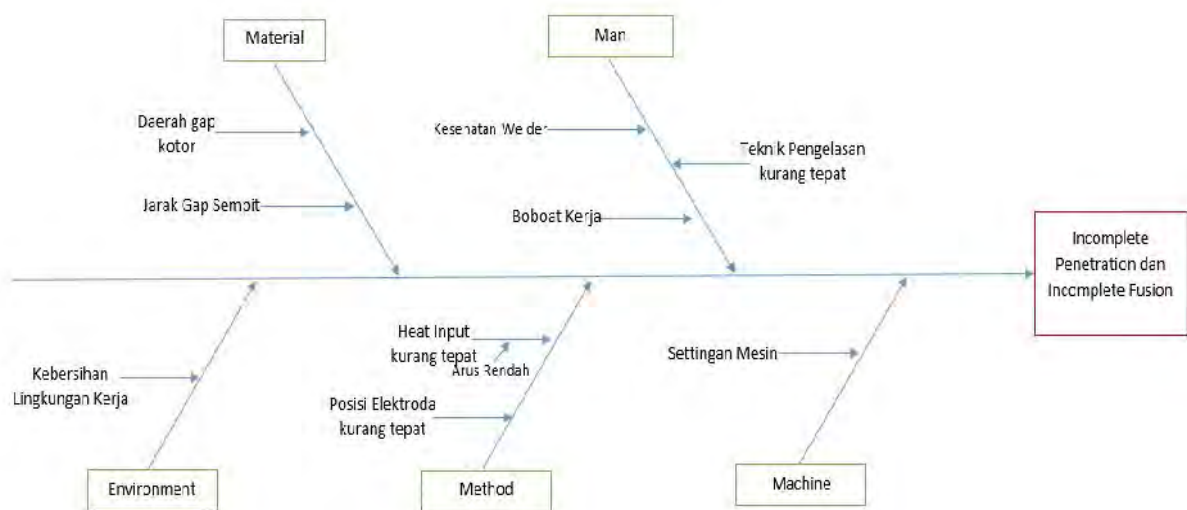
4.2.2 Fishbone Diagram

Mengidentifikasi berbagai sebab potensial dari satu efek atau masalah, dan menganalisis masalah tersebut melalui sesi *brainstorming*. Masalah akan dipecah menjadi sejumlah kategori yang berkaitan, mencakup manusia, material, mesin, prosedur, kebijakan, dan sebagainya.

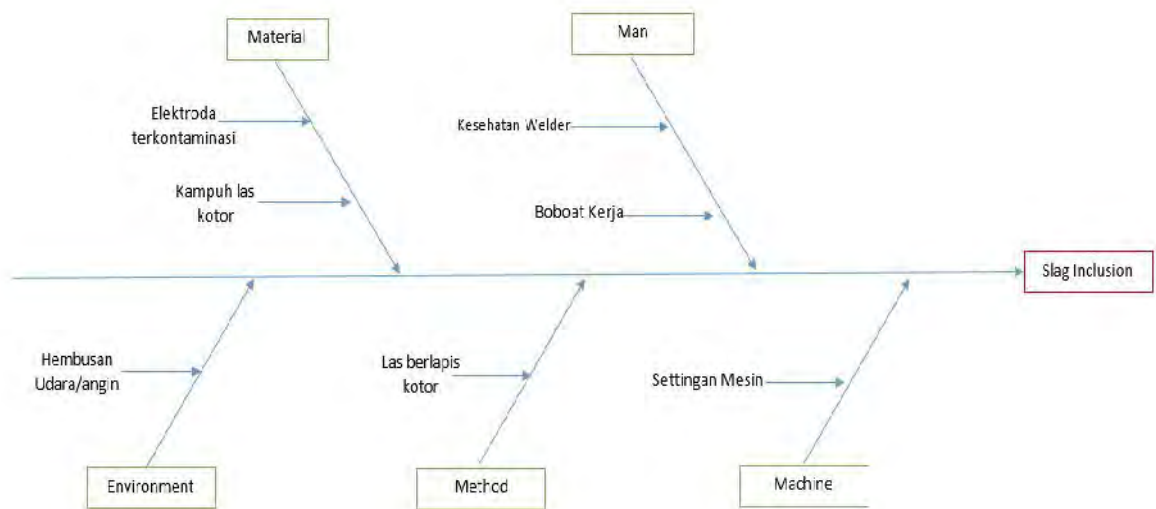
Setelah mengetahui penyebab potensial dari cacat las dominan yang telah diolah menggunakan diagram pareto. Maka dapat dibuat Fishbone Diagram sebagai berikut:



Gambar 4.5 Fishbone Diagram *Porosity*.



Gambar 4.6 Fishbone Diagram *Incomplete Penetration dan Incomplete Fusion*



Gambar 4.7 Fishbone Diagram *Slag Inclusion*.

4.2.3 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Tujuan dari penggunaan FMEA adalah untuk mendapatkan nilai RPN (*Risk Priority Number*). Nilai ini merupakan produk dari hasil perkalian tingkat keparahan, tingkat kejadian, dan tingkat deteksi. RPN menentukan prioritas dari kegagalan. RPN tidak memiliki nilai atau arti, nilai tersebut digunakan untuk meranking kegagalan proses yang potensial.

Nilai RPN dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$RPN = severity \times occurrence \times detection$$

Untuk mendapatkan nilai severity, occurrence, dan detection dibutuhkan penyebaran kuesioner kepada mereka yang ahli dalam dunia welding.

4.2.3.1 Kuesioner Tingkat Keparahan (*Severity*)

Penyebaran kuesioner untuk *severity* dilakukan kepada mereka yang ahli dibidangnya, dalam hal ini responden yang diharapkan adalah mereka yang bekerja pada divisi *Quality Control* pada perusahaan EPCC. Hasil dari penyebaran kuesioner dapat dilihat pada bagian lampiran A. Didapatkan hasil pengolahan kuesioner sebagai berikut:

Tabel 4.9 Hasil Pengolahan Kuesioner *Severity*

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Average	Klasifikasi
1	Pengelasan	Porositas	8	Sangat Tinggi
2	Pengelasan	Incomplete Fusion	8	Sangat Tinggi
3	Pengelasan	Incomplete Penetration	9	Ekstrim
4	Pengelasan	Slag Inclusion	8	Sangat Tinggi

4.2.3.2 Kuesioner Tingkat Kejadian (*Occurance*)

Penyebaran kesioner untuk *Occurance* dilakukan kepada mereka yang ahli dibidangnya, dalam hal ini responden yang diharapkan adalah mereka yang sudah mendapatkan sertifikasi welding inspector. Hasil dari penyebaran kuesioner dapat dilihat pada bagian lampiran B. Didapatkan hasil pengolahan kuesioner sebagai berikut:

Tabel 4.10 Hasil Pengolahan Kuesioner *Occurance*

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Average Occurance	Klasifikasi
1	Pengelasan	Porositas	Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	8	Kemungkinan sangat tinggi
			Kampuh las yang kurang bersih	6	Kemungkinan sedang
			Kesehatan Welder yang kurang baik	4	Kemungkinan sedang
			Bobot kerja welder yang menumpuk	4	Kemungkinan sedang
			Udara yang lembab (embun pagi)	8	Kemungkinan sangat tinggi
			Kebersihan lingkungan kerja yang kurang	4	Kemungkinan sedang
			Laju pendinginan yang cepat	4	Kemungkinan sedang
			Jarak Wire terhadap benda kerja terlalu tinggi	4	Kemungkinan sedang
			Selang gas yang terjepit atau rusak	6	Kemungkinan kejadian tinggi
			Ujung mata las yang kurang bersih	6	Kemungkinan kejadian tinggi
			Gas terlalu tinggi dan tidak sesuai	6	Kemungkinan kejadian tinggi
			Hembusan angin/udara yang dapat mengganggu aliran shielding gas	8	Kemungkinan sangat tinggi
			Setting mesin yang kurang tepat	6	Kemungkinan kejadian tinggi
No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Average Occurance	Klasifikasi
2	Pengelasan	Incomplete Penetration dan Incomplete Fusion	Daerah gap yang kurang bersih	6	Kemungkinan kejadian tinggi
			Jarak gap yang terlalu sempit	6	Kemungkinan kejadian tinggi
			Teknik pengelasan yang kurang tepat	6	Kemungkinan kejadian tinggi
			Kebersihan lingkungan kerja yang kurang	4	Kemungkinan sedang

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Average Occurance	Klasifikasi
			Heat Input yang kurang besar	8	Kemungkinan sangat tinggi
			Arus pengelasan yang rendah	8	Kemungkinan sangat tinggi
			Posisi elektroda yang kurang tepat	6	Kemungkinan kejadian tinggi
			Setting mesin yang kurang tepat	6	Kemungkinan kejadian tinggi
			Kesehatan Welder yang kurang baik	4	Kemungkinan sedang
			Bobot kerja welder yang menumpuk	4	Kemungkinan sedang
No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Average Occurance	Klasifikasi
3	Pengelasan	Slag Inclusion	Kurang bersihnya hasil las berlapis	8	Kemungkinan sangat tinggi
			Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	6	Kemungkinan kejadian tinggi
			Kampuh las yang kurang bersih	8	Kemungkinan sangat tinggi
			Kesehatan Welder yang kurang baik	4	Kemungkinan sedang
			Bobot kerja welder yang menumpuk	4	Kemungkinan sedang
			Hembusan angin/udara di lingkungan kerja las	4	Kemungkinan sedang
			Setting mesin yang kurang tepat	4	Kemungkinan sedang

4.2.3.3 Kuesioner Metode Deteksi (*Detection*)

Penyebaran kuesioner untuk *Detection* dilakukan kepada mereka yang ahli dibidangnya, dalam hal ini responden yang diharapkan adalah mereka yang sudah mendapatkan sertifikasi welding inspector. Hasil dari penyebaran kuesioner dapat dilihat pada bagian lampiran B. Didapatkan hasil pengolahan kuesioner sebagai berikut:

Tabel 4.11 Hasil Pengolahan Kuesioner *Detection*

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Kontrol yang dilakukan	Average Detection	Klasifikasi
1	Pengelasan	Porositas	Perhatikan treatment elektroda	2	Sangat Tinggi
			Perhatikan kebersihan kampuh las	3	Tinggi
			Memperhatikan kesehatan welder	5	Sedang
			Mengontrol bobot kerja welder	6	Rendah
			Penggunaan alat ukur	6	Rendah
			Perhatikan kebersihan lingkungan kerja	5	Sedang
			Penggunaan alat ukur	6	Rendah
			Pengaturan tinggi wire terhadap benda kerja	5	Sedang
			Pengontrolan selang gas sebelum bekerja	4	Tinggi Sedang
			Pengendalian mata las	5	Sedang
			Pengaturan aliran gas	4	Tinggi Sedang
			Pengontrolan tempat lokasi pengelasan	4	Tinggi Sedang
			Pemeriksaan mesin las	4	Tinggi Sedang
No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Kontrol yang dilakukan	Detection	Klasifikasi
2	Pengelasan	Incomplete Penetration dan Incomplete Fusion	Pemeriksaan kebersihan daerah gap	5	Sedang
			Pemeriksaan jarak gap	4	Tinggi Sedang
			Pengarahan kerja oleh <i>supervisor</i>	5	Sedang
			Perhatikan kebersihan lingkungan kerja	5	Sedang
			Pengaturan parameter heat input	4	Tinggi Sedang
			Pengaturan arus las	4	Tinggi Sedang
			Pengaturan posisi elektroda	4	Tinggi Sedang
			Pemeriksaan mesin las	4	Tinggi Sedang

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Kontrol yang dilakukan	Average Detection	Klasifikasi
			Memperhatikan kesehatan welder	5	Sedang
			Mengontrol bobot kerja welder	6	Rendah
No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Kontrol yang dilakukan	Average Detection	Klasifikasi
3	Pengelasan	Slag Inclusion	Pengontrolan setiap layer hasil las	2	Sangat Tinggi
			Perhatikan treatment elektroda	5	Sedang
			Perhatikan kebersihan kampuh las	2	Sangat Tinggi
			Memperhatikan kesehatan welder	6	Rendah
			Mengontrol bobot kerja welder	6	Rendah
			Pengontrolan tempat lokasi pengelasan	5	Sedang
			Pemeriksaan mesin las	5	Sedang

4.2.3.4 Menghitung Nilai RPN

Setelah Nilai severity, occurrence, dan detection didapat dari penyebaran kuesioner, maka nilai RPN dapat dihitung. Hasil dari perhitungan nilai dapat dilihat pada lampiran C.

4.2.3.5 Membuat Ranking RPN

Setelah nilai RPN didapat maka dapat dibuat ranking untuk setiap jenis kegagalan yang terjadi pada pengelasan kombinasi. Ranking RPN dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.12 Ranking RPN tiap Jenis Kegagalan

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	RPN	Rank
1	Pengelasan	Porositas	Udara yang lembab (embun pagi)	384	1
			Ujung mata las yang kurang bersih	257	2
2	Pengelasan		Arus pengelasan yang rendah	244	1

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	RPN	Rank
		Incomplete Fusion	Teknik pengelasan yang kurang tepat	231	2
3	Pengelasan	Slag Inclusion	Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	223	1
			Kesehatan Welder yang kurang baik	183	2
4	Pengelasan	Incomplete Penetration	Arus pengelasan yang rendah	275	1
			Teknik pengelasan yang kurang tepat	260	2

4.2.3.6 Usulan Perbaikan (*Recommended Action*)

Selanjutnya setelah ranking penyebab kegagalan tiap cacat las diketahui, usulan perbaikan dapat diberikan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya cacat las. Usulan perbaikan yang diberikan melalui brainstorming kepada yang ahli dalam bidang pengelasan adalah seperti yang sudah ada pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.13 *Recommended Action*

Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	RPN	Recommended Action
Porositas	Udara yang lembab (embun pagi)	384	Menambah blower di tempat kerja
	Ujung mata las yang kurang bersih	257	Melakukan pembersihan ujung mata las secara rutin
Incomplete Fusion	Arus pengelasan yang rendah	244	Menyesuaikan ampere/arus pengelasan (Sesuai WPS)
	Teknik pengelasan yang kurang tepat	231	Supervisor melakukan briefing setiap memulai pengelasan
Slag Inclusion	Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	223	Melakukan treatment elektroda sesuai dengan prosedur
	Kesehatan Welder yang kurang baik	183	Melakukan pemeriksaan kesehatan rutin untuk welder
Incomplete Penetration	Arus pengelasan yang rendah	275	Menyesuaikan ampere/arus pengelasan (Sesuai WPS)
	Teknik pengelasan yang kurang tepat	260	Supervisor melakukan briefing setiap memulai pengelasan

4.2.3.7 Prioritas Usulan Perbaikan

Untuk mengetahui prioritas perbaikan pada penyebab kegagalan perlu ada pembandingan berikutnya, yaitu dibandingkan dengan estimasi biaya

perbaikan. Estimasi biaya dibuat ke dalam 3 kategori yaitu rendah, sedang, dan tinggi.

Tabel 4.14 Estimasi Biaya pada Usulan Perbaikan

Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	RPN	Recommended Action	Estimasi Biaya			Ket
				Rendah	Sedang	Tinggi	
Porositas	Udara yang lembab (embun pagi)	384	Menambah blower di tempat kerja			X	> Rp 1 juta
	Ujung mata las yang kurang bersih	257	Melakukan pembersihan ujung mata las secara rutin	X			Rp 0 - Rp 500 ribu
Incomplete Fusion	Arus pengelasan yang rendah	244/275	Menyesuaikan ampere/ arus pengelasan (Sesuai WPS)	X			Rp 0 - Rp 500 ribu
	Teknik pengelasan yang kurang tepat	231/260	Supervisor melakukan briefing setiap memulai pengelasan	X			Rp 0 - Rp 500 ribu
Slag Inclusion	Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	223	Melakukan treatment elektroda sesuai dengan prosedur		X		Rp 600 ribu - Rp 1 juta
	Kesehatan Welder yang kurang baik	183	Melakukan Medical Check Up Rutin untuk welder		X		Rp 600 ribu - Rp 1 juta

Dari tabel 4.14 diatas dapat disimpulkan bahwa yang diprioritaskan untuk dilakukan perbaikan adalah melakukan penyesuaian ampere/arus pengelasan (Sesuai WPS) dengan nilai RPN 275 dan estimasi biaya rendah mampu mengurangi risiko dari jenis kegagalan. Lalu diikuti dengan bahwa pentingnya supervisor melakukan briefing setiap memulai pengelasan dengan RPN 260 dan estimasi biaya rendah.

4.2.3.8 Perbandingan Faktor yang Mempengaruhi

Perbandingan faktor disini ditujukan agar mengetahui faktor apa yang paling mempengaruhi dari penyebab welding defect pengelasan kombinasi. Didapatkan perbandingan faktor yang mempengaruhi welding defect pada pengelasan kombinasi sebagai berikut:

4.2.3.8.1 Perbandingan Faktor untuk Porositas

Didapatkan faktor yang paling mempengaruhi untuk cacat las porositas adalah faktor lingkungan yaitu sebesar 29,81% dan faktor mesin yang sebesar 22,28% pada peringkat ke 2.



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Faktor Porositas

4.2.3.8.2 Perbandingan Faktor untuk Incomplete Fusion

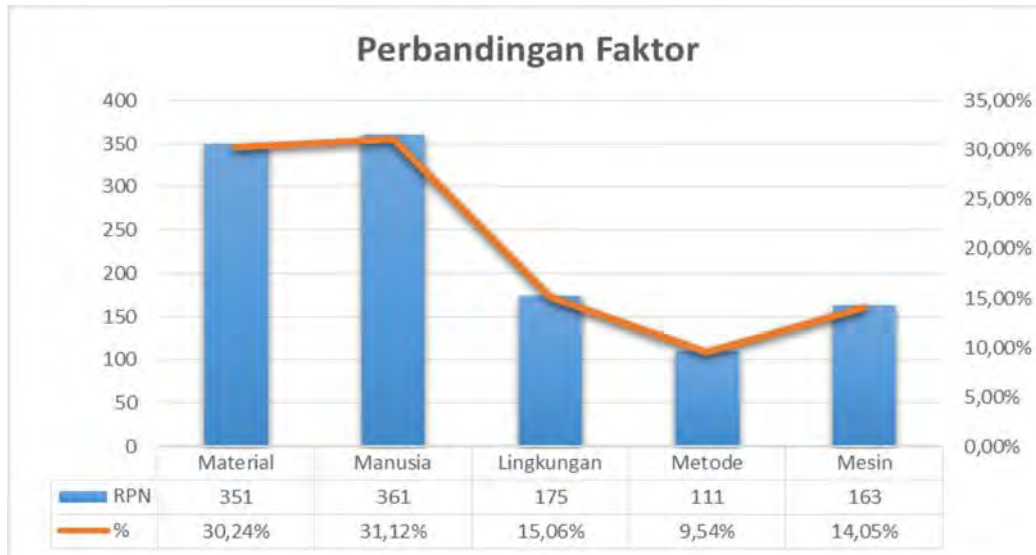
Didapatkan faktor yang paling mempengaruhi untuk cacat las incomplete fusion adalah faktor metode yaitu sebesar 32,46% dan faktor manusia yang sebesar 29,41% pada peringkat ke 2.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Faktor Incomplete Fusion

4.2.3.8.3 Perbandingan Faktor untuk Slag Inclusion

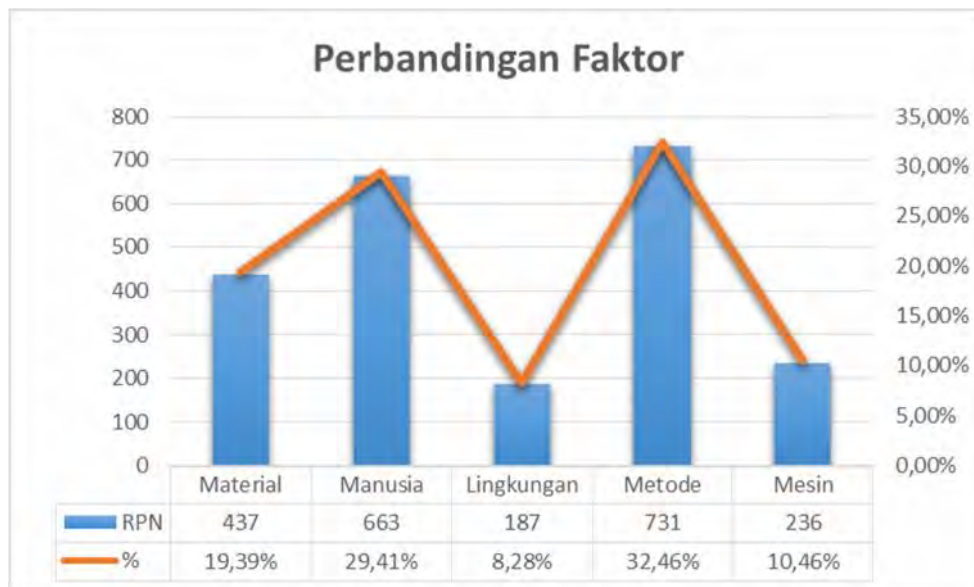
Didapatkan faktor yang paling mempengaruhi untuk cacat las Slag Inclusion adalah faktor manusia yaitu sebesar 31,12% dan faktor material yang sebesar 30,24% pada peringkat ke 2.



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Faktor Slag Inclusion

4.2.3.8.4 Perbandingan Faktor untuk Incomplete Penetration

Didapatkan faktor yang paling mempengaruhi untuk cacat las incomplete Penetration adalah faktor metode yaitu sebesar 32,46% dan faktor manusia yang sebesar 29,41% pada peringkat ke 2.



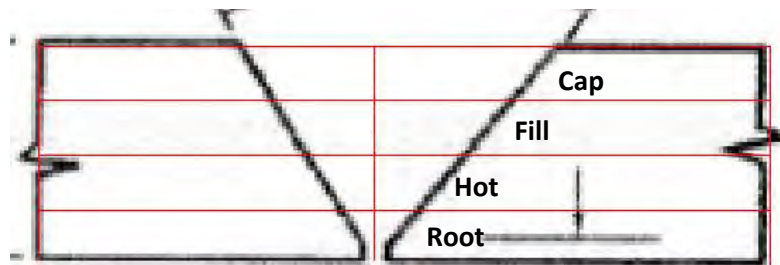
Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Faktor Incomplete Penetration

4.3 Perhitungan Nilai Ekonomis

4.3.1 Perhitungan Konsumsi Elektroda

Seperti yang sudah dibahas dalam bab sebelumnya bahwa perhitungan konsumsi elektroda sangat penting dalam menentukan biaya yang dikeluarkan, perhitungan konsumsi elektroda disini sifatnya sebagai estimasi seberapa banyak elektroda yang akan dihabiskan per jointnya.

Untuk detail joint sama seperti yang sudah ada di gambar 4.3 dan untuk langkah perhitungannya sudah dijelaskan pada bab 2.



Gambar 4.12 Pembagian Layer

Sumber : Dok. Pribadi

4.3.1.1 Perhitungan Konsumsi Elektroda Las Kombinasi 1

Untuk pengelasan kombinasi pertama ini metode pengelasan yang digunakan adalah metode GTAW (*Gas tungsten arc welding*) yang digunakan sebagai pengelasan root pass dan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) yang digunakan sebagai pengelasan hot pass – cap pass.

Perhitungan pengelasan root dengan metode GTAW sebagai berikut:

Diketahui :

- Tinggi/ tebal daerah yang dilas = 3,175 mm
- berat jenis steel = 7,8 gr/cm³
- Panjang las = 683 mm
- Gap = 4 mm
- Root Face = 1 mm
- Sudut = 30°

1. Volume area dari gap sampai caping:

$$= 4 \times 3,175 \times 683 = 8674,1 \text{ mm}^3$$
2. Volume daerah bevel kiri dan kanan:
 -Sisa tinggi material dikurangi root face = 2,175 mm
 -Panjang daerah X= 2,175 tg 30

$$X = 1,25 \text{ mm}$$
 -Jadi volume ke dua area bevel

$$= (1,25 \times 2,175 \times 683) \times 2 = 3728,593 \text{ mm}^3$$
3. Total semua area = $8674,1 \text{ mm}^3 + 3728,593 \text{ mm}^3$

$$V = 12402,69 \text{ mm}^3 = 12,40269 \text{ cm}^3$$
4. Hitung kebutuhan kawat las dengan rumus =

$$\rho = m/V$$

$$m = \rho \times V = 96,74101 \text{ gr/cm}^3$$

$$= 0,096741 \text{ kg}$$
5. Eff kawat 60% (GTAW) berarti berat yang dibutuhkan adalah

$$0,6 X = 0,096741 \text{ Kg,}$$
 berapa X? = $0,096741/0,6 \text{ Kg}$
6. Jadi kawat las yang dibutuhkan untuk pengelasan ini adalah

$$0,16 \text{ Kg}$$

Perhitungan pengelasan Hot pass dengan metode FCAW sebagai berikut:

1. Untuk menghitung bagian ini menggunakan pendekatan jajar genjang yaitu menggunakan rumus luas jajar genjang:

$$A = a \times t$$

Menghitung Luas alas =

- Panjang daerah X = $(3,175 \times 2) \tan 30$

$$X = 3,66 \text{ mm}$$

- $X_{\text{root}} + X = 4,92 \text{ mm}$

$$A = 4,92 \times 3,175 = 15,62 \text{ mm}^2$$

2. Menghitung Volume las dengan rumus :

$$V = A \times L$$

$$V = 15,62 \text{ mm}^2 \times 683 \text{ mm} = 10666,81 \text{ mm}^3$$

3. Volume las dikalikan 2, agar mendapatkan hasil volume dua bevel.

$$= 10666,81 \text{ mm}^3 \times 2 = 21333,62 \text{ mm}^3 = 21,33 \text{ cm}^3$$

4. Menghitung kawat las yang dibutuhkan dengan rumus :

$$\rho = m/V$$

$$m = \rho \times V$$

$$\rho = 7,8 \text{ gr/cm}^3$$

$$m = 7,8 \times 21,33 = 166,40 \text{ gr}$$

$$= 0,166 \text{ kg}$$

5. Eff kawat 80% (FCAW) berarti berat yang dibutuhkan adalah

$$0,8 \times X = 0,166 \text{ Kg,}$$

$$\text{berapa } X? = 0,166/0,8 \text{ Kg}$$

6. Jadi kawat las yang dibutuhkan untuk pengelasan ini adalah 0,21 Kg

Perhitungan pengelasan Fill pass dengan metode FCAW sebagai berikut:

1. Untuk menghitung bagian ini menggunakan pendekatan jajar genjang yaitu menggunakan rumus luas jajar genjang:

$$A = a \times t$$

Menghitung alas =

$$\text{- Panjang daerah } X = (3,175 \times 3) \tan 30$$

$$X = 5,56 \text{ mm}$$

$$\text{- Alas}_{\text{hot}} + X = 10,41 \text{ mm}$$

$$A = 10,41 \times 3,175 = 33,07 \text{ mm}^2$$

2. Menghitung Volume las dengan rumus :

$$V = A \times L$$

$$V = 33,07 \text{ mm}^2 \times 683 \text{ mm} = 22584,86 \text{ mm}^3$$

3. Volume las dikalikan 2, agar mendapatkan hasil volume dua bevel.
 $= 22584,86 \text{ mm}^3 \times 2 = 45169,73 \text{ mm}^3 = 45,17 \text{ cm}^3$
4. Menghitung kawat las yang dibutuhkan dengan rumus :

$$\rho = m/V$$

$$m = \rho \times V$$

$$\rho = 7,8 \text{ gr/cm}^3$$

$$m = 7,8 \times 45,17 = 352,32 \text{ gr}$$

$$= 0,35 \text{ kg}$$

5. Eff kawat 80% (FCAW) berarti berat yang dibutuhkan adalah
 $0,8 \times X = 0,35 \text{ Kg}$,
 berapa X? $= 0,35/0,8 \text{ Kg}$
6. Jadi kawat las yang dibutuhkan untuk pengelasan ini adalah 0,44 Kg

Perhitungan pengelasan Capp pass dengan metode FCAW sebagai berikut:

1. Untuk menghitung bagian ini menggunakan pendekatan jajar genjang yaitu menggunakan rumus luas jajar genjang:

$$A = a \times t$$

Menghitung alas =

- Panjang daerah X = $(3,175 \times 4) \tan 30$

$$X = 7,33 \text{ mm}$$

- $\text{Alas}_{\text{fill}} + X = 17,74 \text{ mm}$

$$A = 17,74 \times 3,175 = 56,33 \text{ mm}^2$$

2. Menghitung Volume las dengan rumus :

$$V = A \times L$$

$$V = 56,33 \text{ mm}^2 \times 683 \text{ mm} = 38475,60 \text{ mm}^3$$

3. Volume las dikalikan 2, agar mendapatkan hasil volume dua bevel.
 $= 38475,60 \text{ mm}^3 \times 2 = 76951,19 \text{ mm}^3 = 76,95 \text{ cm}^3$
4. Menghitung kawat las yang dibutuhkan dengan rumus :

$$\rho = m/V$$

$$m = \rho \times V$$

$$\rho = 7,8 \text{ gr/cm}^3$$

$$m = 7,8 \times 76,95 = 600,22 \text{ gr}$$

$$= 0,60 \text{ kg}$$

5. Eff kawat 80% (FCAW) berarti berat yang dibutuhkan adalah
 $0,8 \times X = 0,60 \text{ Kg}$,
berapa X? $= 0,60/0,8 \text{ Kg}$
6. Jadi kawat las yang dibutuhkan untuk pengelasan ini adalah 0,75 Kg

Untuk pengelasan kombinasi pertama dibutuhkan elektroda sebanyak :

Tabel 4.15 Estimasi Konsumsi Elektroda Kombinasi las 1

No.	Meotde Las	Elektroda	Kebutuhan	Unit
1	GTAW	ER 70S-G	0,16	Kg
2	FCAW	E71T-9C-J	0,21	Kg
3	FCAW	E71T-9C-J	0,44	Kg
4	FCAW	E71T-9C-J	0,75	Kg
Total			1,56	Kg

4.3.1.2 Perhitungan Konsumsi Elektroda Las Kombinasi 2

Untuk pengelasan kombinasi kedua ini metode pengelasan yang digunakan adalah metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) yang digunakan sebagai pengelasan root pass dan FCAW (*Flux Cored Arc Welding*) yang digunakan sebagai pengelasan hot pass – cap pass.

Dengan cara sama seperti pengelasan kombinasi pertama, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.16 Estimasi Konsumsi Elektroda Kombinasi las 2

No.	Meotde Las	Elektroda	Kebutuhan	Unit
1	SMAW	E7016	0,12	Kg
2	FCAW	E71T-9C-J	0,21	Kg
3	FCAW	E71T-9C-J	0,44	Kg
4	FCAW	E71T-9C-J	0,75	Kg
Total			1,52	Kg

4.3.2 Perhitungan Biaya Las

4.3.2.1 Labor Cost dan Overhead Cost

Labor Cost adalah biaya / upah yang dibayarkan selama jam kerja resmi yaitu selama 8 jam. Overhead Cost adalah biaya yang timbul diluar biaya upah dan material yang terdiri dari komponen-komponen. Untuk biaya listrik serta peralatan dimasukan kedalam overhead cost.

Setelah didapat data diatas labor cost serta overhead cost dapat dihitung, sebagai berikut:

Tabel 4.17 Labor Cost dan Overhead Cost

No	Keterangan	GTAW	FCAW	Kombinasi 1	SMAW	FCAW	Kombinasi 2
1	Upah Kerja	Rp 18.716	Rp 18.716		Rp 18.716	Rp 18.716	
2	Sewa Alat	Rp 43.750	Rp 43.750		Rp 43.750	Rp 43.750	
3	Listrik	Rp 2.013	Rp 6.120		Rp 1.830	Rp 5.797	
	Total	Rp 64.479	Rp 68.586		Rp 64.297	Rp 68.264	

4.3.2.2 Weld Metal Cost

Weld metal cost adalah biaya penggunaan banyak elektroda las yang digunakan. Setelah mengetahui harga kawat las tiap metode pengelasan,

selanjutnya harga tersebut dibagi eff kawat las, dan didapat weld metal cost sebagai berikut:

Tabel 4.18 Weld Metal Cost

No	Metode Las	Elektroda	Brand	Harga
1	GTAW	ER 70S-G	TGS-S50 (Kobe)	Rp 70.000
2	SMAW	E7016	LB-52U (Kobe)	Rp 36.000
3	FCAW	E71T-9C-J	Dual Shield II 71HI (ESAB)	Rp 13.500

4.3.2.3 Operating Factor dan Deposition Rate

Operator Factor (OF) adalah kerja sesungguhnya dari seorang welder untuk mendepositkan lasan kesambungan. Artinya kerja dihitung hanya ketika api las menyala. *Deposition Rate* (DR) adalah jumlah lasan yang dihasilkan oleh welder dalam satuan waktu, dimana akan berdampak langsung pada kecepatan pengelasan.

Seperti yang sudah dibahas dalam bab sebelumnya, kali ini operating factor dan deposition rate akan dikalikan untuk menunjang perhitungan biaya pengelasan. Maka didapati hasil sebagai berikut:

Tabel 4.19 Perhitungan Operating factor dan Deposition Rate

No	Metode Las	Elektroda	Operating Factor	Dep. Rate	Unit	OF x DR	Unit
1	GTAW	ER 70S-G	50%	3,00	Kg/jam	1,50	Kg/jam
2	SMAW	E7016	30%	1,70	Kg/jam	0,51	Kg/jam
3	FCAW	E71T-9C-J	45%	3,90	Kg/jam	1,76	Kg/jam

4.3.2.4 Biaya Keseluruhan

Setelah menghitung biaya-biaya diatas, sekarang dapat menghitung biaya keseluruhan / besar biaya yang dikeluarkan untuk 2 pengelasan kombinasi yang berbeda. Dengan menggunakan microsoft excel 2013, didapatkan biaya keseluruhan sebagai berikut:

Tabel 4.20 Perhitungan Biaya Keseluruhan Las Kombinasi 1

No	Jenis Biaya	Proses Las		Unit
		GTAW	FCAW	
		Labor & OH / Dep. Rate x Op. Fac		
1	Labor & Overhead Cost	Rp 42.986	Rp 39.080	Rp/kg
		Electrode Price / Efficiency		
2	Weld metal cost	Rp 70.000	Rp 36.000	Rp/kg
	Total	Rp 112.986	Rp 75.080	Rp/kg
		Rp 18.217	Rp 105.013	Rp

Tabel 4.21 Perhitungan Biaya Keseluruhan Las Kombinasi 2

No	Jenis Biaya	Proses Las		Unit
		SMAW	FCAW	
		Labor & OH / Dep. Rate x Op. Fac		
1	Labor & Overhead Cost	Rp 126.072	Rp 38.897	Rp/kg
		Electrode Price / Efficiency		
2	Weld metal cost	Rp 13.500	Rp 36.000	Rp/kg
	Total	Rp 139.572	Rp 74.897	Rp/kg
		Rp 16.878	Rp 104.757	Rp

Total biaya keseluruhan sudah diketahui, setelah ini biaya keseluruhan dikali dengan jumlah elektroda yang dibutuhkan, didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.22 Biaya Total

No	Metode Pengelasan	Jumlah Biaya/kg	Jumlah elektroda	Total Cost
1	GTAW	Rp 112.986	0,16	Rp 18.217,33
2	FCAW	Rp 75.080	1,40	Rp 105.013,32
	Kombinasi 1 (GTAW + FCAW)			Rp 123.231
1	SMAW	Rp 139.572	0,120926261	Rp 16.878
2	FCAW	Rp 74.897	1,40	Rp 104.756,64
	Kombinasi 2 (SMAW + FCAW)			Rp 121.635

4.3.2.5 Perhitungan Nilai Keuntungan

Menghitung keuntungan merupakan hal yang sangat penting, karena akan diketahui besarnya pendapatan setelah hasil dari biaya produksi dihitung. Dimana besarnya keuntungan dengan menggunakan estimasi persentase keuntungan 20%.

Tabel 4.23 Keuntungan

No	Metode Las	Biaya Produksi	Harga Jual	Keuntungan	Percentage
1	GTAW + FCAW	Rp 123.231	Rp 147.877	Rp 24.646	20%
2	SMAW + FCAW	Rp 121.635	Rp 145.961	Rp 24.327	20%

4.4 Perhitungan Depresiasi

Perhitungan Depresiasi digunakan untuk mengetahui harga penyusutan mesin las yang menjadi aktiva tetap, apabila mesin las disini dianggap menjadi aset berwujud yang dimiliki untuk digunakan dalam produksi. Menggunakan rumus perhitungan depresiasi metode garis lurus. Dan dengan mengacu kepada Undang-Undang Nomor 7 Tahun 1983 Tentang Pajak Penghasilan.

Dimana,

Biaya Aktiva Tetap : Rp 50.000.000,- (Mesin Las)

Nilai Sisa : Rp 0,-

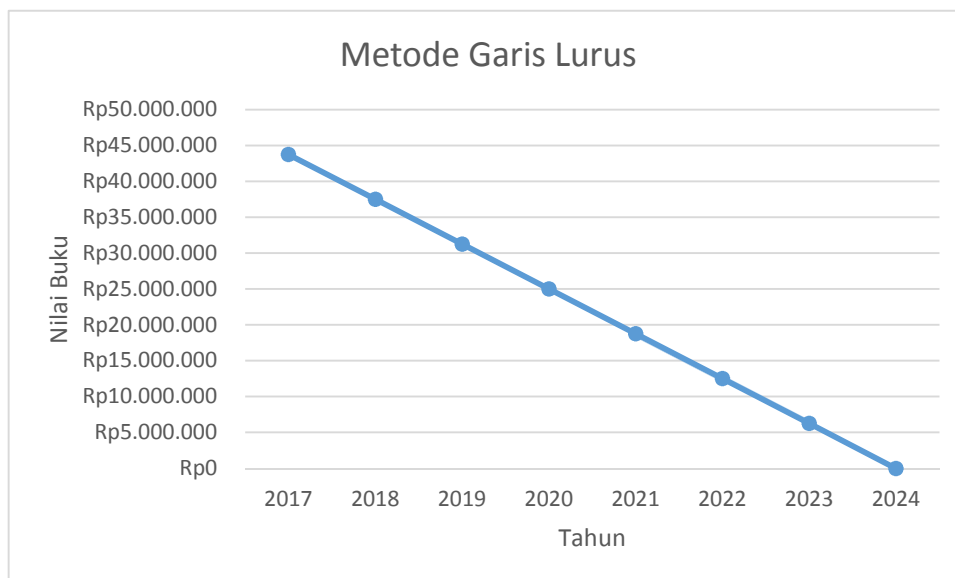
Umur Manfaat : 8 Tahun (Diasumsikan dengan maintenance)

Tarif Amortasi : 12,5%

Maka didapat depresiasi sebagai berikut:

Tabel 4.24 Depresiasi

Tahun	Depresiasi	Akumulasi Depresiasi	Nilai Buku
2016			Rp50.000.000
2017	Rp 6.250.000	Rp 6.250.000	Rp43.750.000
2018	Rp 6.250.000	Rp 12.500.000	Rp37.500.000
2019	Rp 6.250.000	Rp 18.750.000	Rp31.250.000
2020	Rp 6.250.000	Rp 25.000.000	Rp25.000.000
2021	Rp 6.250.000	Rp 31.250.000	Rp18.750.000
2022	Rp 6.250.000	Rp 37.500.000	Rp12.500.000
2023	Rp 6.250.000	Rp 43.750.000	Rp6.250.000
2024	Rp 6.250.000	Rp 50.000.000	Rp0

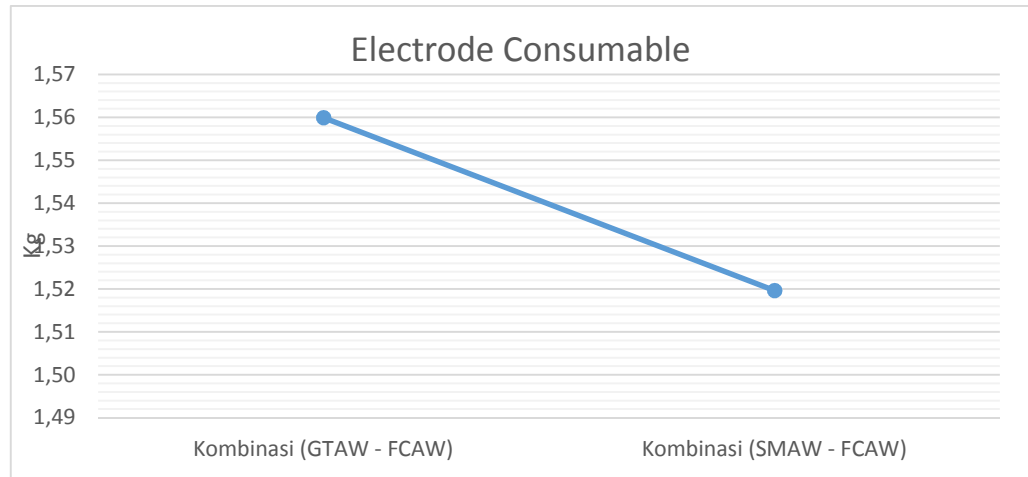


Gambar 4.13 Grafik Metode Garis Lurus

4.5 Perbandingan Nilai Ekonomis

4.5.1 Perbandingan Konsumsi Elektroda

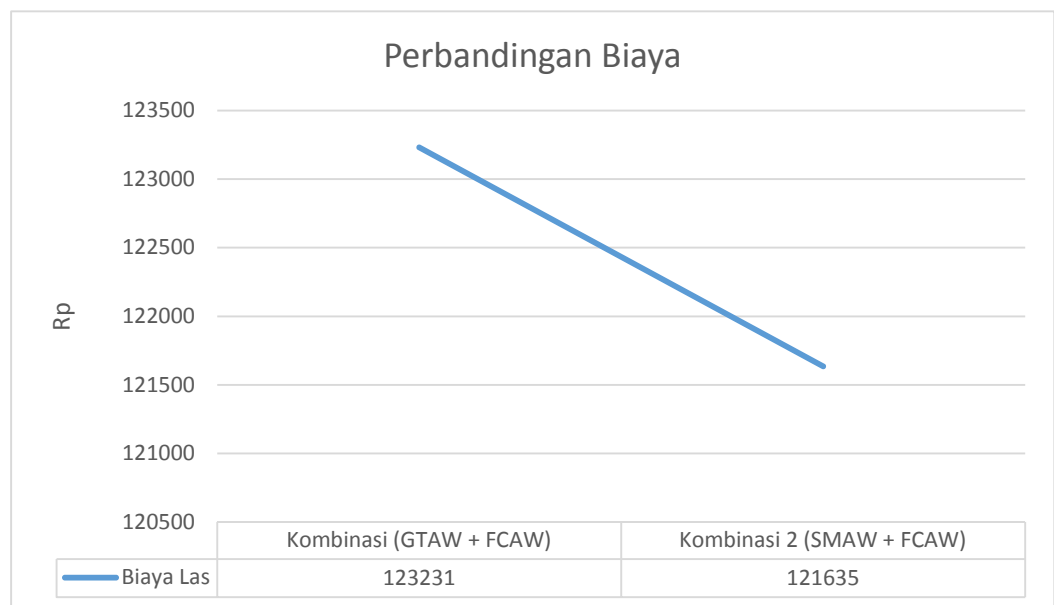
Setelah mengetahui konsumsi elektroda tiap pengelasan kombinasi yang berbeda, kita dapat mengetahui perbandingan dari dua pengelasan kombinasi tersebut. Dimana pengelasan kombinasi pertama (GTAW + FCAW) lebih banyak mengonsumsi elektroda sebesar 2,65% dibanding dengan pengelasan kombinasi kedua (SMAW + FCAW).



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Konsumsi Elektroda

4.5.2 Perbandingan Biaya Keseluruhan

Setelah mengetahui biaya keseluruhan tiap pengelasan kombinasi yang berbeda, kita dapat mengetahui perbandingan dari dua pengelasan kombinasi tersebut. Dimana pengelasan kombinasi pertama (GTAW + FCAW) lebih besar mengeluarkan biaya sebesar 1% dibanding dengan pengelasan kombinasi kedua (SMAW + FCAW).



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Biaya

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran A

Hasil Kuesioner Severity dan Pengolahan Keuesioner

A.1 Data Responden

No	Nama	Usia
1	Rendy	21-30 tahun
2	Hardy	21-30 tahun
3	Jendra Hangesti	21-30 tahun
4	Nur Hidayat	21-30 tahun
5	Hariyadi	21-30 tahun
6	Sukriadi	21-30 tahun
7	Mono Feb	31-40 tahun
8	Beny	21-30 tahun
9	Arifin	51-55 tahun
10	MSyjuwan al K	21-30 tahun
11	Joni	41-50 tahun

A.2 Hasil Pengolahan Kuesioner

Pertanyaan	Responden										Average	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11
Berapakah bear efek dari cacat las porositas terhadap kekuatan sambungan pipa?	8	10	9	9	9	8	9	6	10	7	8	8

Pertanyaan	Responden										Average	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11
Berapakah bear efek dari cacat las Incomplete Fusion terhadap kekuatan sambungan pipa?	8	10	8	8	9	9	10	4	10	7	8	8

Pertanyaan	Responden										Average	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11
Berapakah bear efek dari cacat las incomplete penetration terhadap kekuatan sambungan pipa?	9	10	9	9	9	8	10	2	10	10	9	9

Pertanyaan	Responden										Average	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11
Berapakah bear efek dari cacat las Slag Inclusion terhadap kekuatan sambungan pipa?	7	10	9	9	9	9	10	3	10	7	8	8

Lampiran B

Hasil Kuesioner Occurance dan Detection

&

Pengolahan Kuesioner

Kriteria Penilaian

Occurance (O) : merupakan kesempatan/ tingkat keseringan suatu masalah yang terjadi karena penyebab kegagalan.

<i>Ranking</i>	Kriteria
2	Kemungkinan rendah
4	Kemungkinan sedang
6	Kemungkinan kejadian tinggi
8	Kemungkinan sangat tinggi
10	Berbahaya

Detection (D) : merupakan penaksiran kemungkinan dari proses kontrol yang dilakukan.

<i>Rangking</i>	Kriteria
1	Hampir pasti
2	Sangat tinggi
3	Tinggi
4	Tinggi sedang
5	Sedang
6	Rendah
7	Sangat rendah
8	Jauh
9	Sangat jauh
10	Tidak diketahui

Petunjuk Pengisian

Tabel berikut dimaksudkan untuk menentukan seberapa besar penyebab kegagalan dan kontrol yang dilakukan terhadap jenis kegagalan yang terjadi. Isi dengan pemberian nilai sesuai dengan kriteria penilaian Occurance (O) dan Detection (D).

B.1 Data Responden

No	Nama	Usia
1	Andhika Sufa	22
2	M. Bintang Bayu K	21
3	Marshal m.p	21
4	Adhi Jaya	21
5	Evan Rizal P	22
6	Rifqi F.P	22
7	Puguh Pribadhi	21
8	Wahid Rahman	22
9	R. Maulana Ahmad	22
10	Armada W.Y	23
11	Kukuh Prayoga	22

B.2 Hasil Pengolahan Kuesioner Occurance

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Responden											Occurance	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		Average
1	Pengelasan	Porositas	Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	8	6	8	8	4	8	8	8	10	6	8	7,45	8
			Kampuh las yang kurang bersih	4	6	6	8	6	8	8	8	8	6	6	6,73	6
			Kesehatan Welder yang kurang baik	2	2	2	8	4	6	4	6	8	4	4	4,55	4

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Responden											Occurance	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		Average
			Bobot kerja welder yang menumpuk	2	2	2	4	6	4	4	6	8	4	2	4,00	4
			Udara yang lembab (embun pagi)	8	8	8	6	8	6	8	8	8	6	10	7,64	8
			Kebersihan lingkungan kerja yang kurang	6	2	2	6	4	4	4	8	8	4	2	4,55	4
			Laju pendinginan yang cepat	2	2	2	10	6	8	2	2	6	4	6	4,55	4
			Jarak Wire terhadap benda kerja terlalu tinggi	4	2	2	4	4	6	10	4	6	6	2	4,55	4
			Selang gas yang terjepit atau rusak	8	4	4	10	4	6	8	6	8	6	10	6,73	6
			Ujung mata las yang kurang bersih	4	4	4	6	6	6	8	6	6	6	2	5,27	6
			Gas terlalu tinggi dan tidak sesuai	2	6	6	8	6	6	2	8	10	6	6	6,00	6
			Hembusan angin/udara yang dapat mengganggu aliran shielding gas	8	6	6	10	6	8	10	8	8	6	10	7,82	8
			Setting mesin yang kurang tepat	6	4	4	8	4	4	10	8	6	6	2	5,64	6

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Average	
--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	---------	--

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Penyebab Kegagalan	Responden											Occurance	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		Average
			Kesehatan Welder yang kurang baik	4	4	4	4	4	2	2	6	6	4	2	3,82	4
			Bobot kerja welder yang menumpuk	4	4	4	4	4	2	2	4	6	4	2	3,64	4
			Hembusan angin/udara di lingkungan kerja las	4	4	4	4	6	8	2	6	6	6	2	4,73	4
			Setting mesin yang kurang tepat	4	4	4	4	4	4	4	8	6	8	4	4,91	4

B.3 Hasil Pengolahan Kuesioner Detection

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Kontrol yang dilakukan	Responden											Detection
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Pengelasan	Porositas	Perhatikan treatment elektroda	2	2	2	2	3	4	5	1	3	1	2	2
			Perhatikan kebersihan kampuh las	4	3	3	3	4	4	5	1	2	2	8	3
			Memperhatikan kesehatan welder	5	10	0	4	1	6	2	4	2	5	10	5
			Mengontrol bobot kerja welder	5	8	8	5	2	4	8	5	2	7	10	6
			Penggunaan alat ukur	5	10	0	4	4	5	8	4	2	4	10	6
			Perhatikan kebersihan lingkungan kerja	3	8	8	3	3	5	8	3	3	5	10	5
			Penggunaan alat ukur	4	10	0	4	4	6	8	6	2	4	10	6
			Pengaturan tinggi wire terhadap benda kerja	5	8	8	5	5	5	2	5	3	2	10	5
			Pengontrolan selang gas sebelum bekerja	4	4	4	3	6	4	5	4	2	3	8	4
			Pengendalian mata las	7	6	6	4	6	5	6	4	4	3	8	5
			Pengaturan aliran gas	8	3	3	3	6	6	7	4	1	2	1	4
			Pengontrolan tempat lokasi pengelasan	7	2	2	3	4	5	7	3	2	3	6	4
			Pemeriksaan mesin las	5	3	3	3	5	5	5	3	4	2	10	4

Pengontrolan tempat lokasi pengelasan	5	5	5	4	5	0	4	3	4	10	5	5
Pemeriksaan mesin las	5	5	5	5	6	5	4	3	3	10	5	5

Lampiran C

Pengolahan Failure Mode and Effect Analysis

C.1 Hasil Pengolahan FMEA

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Severity (S)	Penyebab Kegagalan	Occurance (O)	Kontrol yang dilakukan	Detection (D)	RPN
1	Pengelasan	Porositas	8	Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	8	Perhatikan treatment elektroda	2	157
				Kampuh las yang kurang bersih	6	Perhatikan kebersihan kampuh las	3	166
				Kesehatan Welder yang kurang baik	4	Memperhatikan kesehatan welder	5	172
				Bobot kerja welder yang menumpuk	4	Mengontrol bobot kerja welder	6	186
				Udara yang lembab (embun pagi)	8	Penggunaan alat ukur	6	384
				Kebersihan lingkungan kerja yang kurang	4	Perhatikan kebersihan lingkungan kerja	5	172
				Laju pendinginan yang cepat	4	Penggunaan alat ukur	6	198

				Jarak Wire terhadap benda kerja terlalu tinggi	4	Pengaturan tinggi wire terhadap benda kerja	5	169
				Selang gas yang terjepit atau rusak	6	Pengontrolan selang gas sebelum bekerja	4	205
				Ujung mata las yang kurang bersih	6	Pengendalian mata las	5	257
				Gas terlalu tinggi dan tidak sesuai	6	Pengaturan aliran gas	4	192
				Hembusan angin/udara yang dapat mengganggu aliran shielding gas	8	Pengontrolan tempat lokasi pengelasan	4	256
				Setting mesin yang kurang tepat	6	Pemeriksaan mesin las	4	209
				Penyebab Kegagalan	Occurance (O)	Kontrol yang dilakukan	Detection (D)	RPN
				Daerah gap yang kurang bersih	6	Pemeriksaan kebersihan daerah gap	5	218
				Jarak gap yang terlalu sempit	6	Pemeriksaan jarak gap	4	170
2	Pengelasan	Incomplete Fusion	8					

	</	

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Severity (S)	Penyebab Kegagalan	Occurance (O)	Kontrol yang dilakukan	Detection (D)	RPN
3	Pengelasan	Slag Inclusion	8	Kurang bersihnya hasil las berlapis	8	Pengontrolan setiap layer hasil las	2	111
				Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	6	Perhatikan treatment elektroda	5	223
				Kampuh las yang kurang bersih	8	Perhatikan kebersihan kampuh las	2	128
				Kesehatan Welder yang kurang baik	4	Memperhatikan kesehatan welder	6	183
				Bobot kerja welder yang menumpuk	4	Mengontrol bobot kerja welder	6	177
				Hembusan angin/udara di lingkungan kerja las	4	Pengontrolan tempat lokasi pengelasan	5	175
				Setting mesin yang kurang tepat	4	Pemeriksaan mesin las	5	163

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Severity (S)	Penyebab Kegagalan	Occurance (O)	Kontrol yang dilakukan	Detection (D)	RPN
4	Pengelasan	Incomplete Penetration	9	Daerah gap yang kurang bersih	6	Pemeriksaan kebersihan daerah gap	5	245
				Jarak gap yang terlalu sempit	6	Pemeriksaan jarak gap	4	191
				Teknik pengelasan yang kurang tepat	6	Pengarahan kerja oleh <i>supervisor</i>	5	260
				Kebersihan lingkungan kerja yang kurang	4	Perhatikan kebersihan lingkungan kerja	5	187
				Heat Input yang kurang besar	8	Pengaturan parameter heat input	4	255
				Arus pengelasan yang rendah	8	Pengaturan arus las	4	275
				Posisi elektroda yang kurang tepat	6	Pengaturan posisi elektroda	4	201
				Setting mesin yang kurang tepat	6	Pemeriksaan mesin las	4	236

Kesehatan Welder yang kurang baik	4	Memperhatikan kesehatan welder	5	196
Bobot kerja welder yang menumpuk	4	Mengontrol bobot kerja welder	6	206

C.2 FMEA Porositas dan Penggolongan Faktor

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Severity (S)	Penyebab Kegagalan	Occurance (O)	Kontrol yang dilakukan	Detection (D)	RPN	%	Faktor
1	Pengelasan	Porositas	8	Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	8	Perhatikan treatment elektroda	2	157	5,77%	Material
				Kampuh las yang kurang bersih	6	Perhatikan kebersihan kampuh las	3	166	6,09%	Material
				Kesehatan Welder yang kurang baik	4	Memperhatikan kesehatan welder	5	172	6,30%	Manusia
				Bobot kerja welder yang menumpuk	4	Mengontrol bobot kerja welder	6	186	6,84%	Manusia
				Udara yang lembab (embun pagi)	8	Penggunaan alat ukur	6	384	14,10%	Lingkungan
				Kebersihan lingkungan kerja yang kurang	4	Perhatikan kebersihan lingkungan kerja	5	172	6,30%	Lingkungan
				Laju pendinginan yang cepat	4	Penggunaan alat ukur	6	198	7,26%	Metode
				Jarak Wire terhadap benda kerja terlalu tinggi	4	Pengaturan tinggi wire terhadap benda kerja	5	169	6,20%	metode
				Selang gas yang terjepit atau rusak	6	Pengontrolan selang gas sebelum bekerja	4	205	7,53%	Mesin
				Ujung mata las yang kurang bersih	6	Pengendalian mata las	5	257	9,46%	Mesin
				Gas terlalu tinggi dan tidak sesuai	6	Pengaturan aliran gas	4	192	7,05%	Mesin
				Hembusan angin/udara yang dapat mengganggu aliran shielding gas	8	Pengontrolan tempat lokasi pengelasan	4	256	9,40%	Lingkungan
				Setting mesin yang kurang tepat	6	Pemeriksaan mesin las	4	209	7,69%	Mesin
Total							2723	100%		

C.3 FMEA incomplete fusion&penetration dan Penggolongan Faktor

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Severity (S)	Penyebab Kegagalan	Occurance (O)	Kontrol yang dilakukan	Detection (D)	RPN	RPN	%	Faktor
2	Pengelasan	Incomplete Fusion dan Incomplete Penetration	8 dan 9	Daerah gap yang kurang bersih	6	Pemeriksaan kebersihan daerah gap	5	218	245	11%	Material
				Jarak gap yang terlalu sempit	6	Pemeriksaan jarak gap	4	170	191	8%	Material
				Teknik pengelasan yang kurang tepat	6	Pengarahan kerja oleh <i>supervisor</i>	5	231	260	12%	Manusia
				Kebersihan lingkungan kerja yang kurang	4	Perhatikan kebersihan lingkungan kerja	5	166	187	8%	Lingkungan
				Heat Input yang kurang besar	8	Pengaturan parameter heat input	4	227	255	11%	Metode
				Arus pengelasan yang rendah	8	Pengaturan arus las	4	244	275	12%	Metode
				Posisi elektroda yang kurang tepat	6	Pengaturan posisi elektroda	4	179	201	9%	Metode
				Setting mesin yang kurang tepat	6	Pemeriksaan mesin las	4	209	236	10%	Mesin
				Kesehatan Welder yang kurang baik	4	Memperhatikan kesehatan welder	5	175	196	9%	Manusia
				Bobot kerja welder yang menumpuk	4	Mengontrol bobot kerja welder	6	183	206	9%	Manusia
Total							2003	2253	100%		

C.4 FMEA Slag inclusion dan Penggolongan Faktor

No	Fungsi Proses	Jenis Kegagalan	Severity (S)	Penyebab Kegagalan	Occurance (O)	Kontrol yang dilakukan	Detection (D)	RPN	%	Faktor
3	Pengelasan	Slag Inclusion	8	Kurang bersihnya hasil las berlapis	8	Pengontrolan setiap layer hasil las	2	111	10%	Metode
				Elektroda terkontaminasi dengan zat luar dan lembab	6	Perhatikan treatment elektroda	5	223	19%	Material
				Kampuh las yang kurang bersih	8	Perhatikan kebersihan kampuh las	2	128	11%	Material
				Kesehatan Welder yang kurang baik	4	Memperhatikan kesehatan welder	6	183	16%	Manusia
				Bobot kerja welder yang menumpuk	4	Mengontrol bobot kerja welder	6	177	15%	Manusia
				Hembusan angin/udara di lingkungan kerja las	4	Pengontrolan tempat lokasi pengelasan	5	175	15%	Lingkungan
				Setting mesin yang kurang tepat	4	Pemeriksaan mesin las	5	163	14%	Mesin
								1159	100%	

Lampiran D

Welding Procedure Specification

(WPS)

Lampiran E

Perhitungan Konsumsi Elektroda

E.1 Perhitungan Konsumsi Elektroda Las kombinasi 1

GTAW - Root									
Root Opening	4 mm								
tebal root	3,175 mm								
Panjang las-lasan	683 mm								
Volume daerah gap	8674,1 mm3								
root face	1 mm								
tebal bevel	2,175 mm								
Angle	30								
	0,577								
X	1,25 mm								
Vol dua area bevel	3728,593 mm3								
Total Area	12402,69 mm3								
	12,40269 cm3								
P = m/v									
m = ρ * v									
ρ	7,8 gr/cm3								
m	96,74101 gr/cm3								
Eff	0,096741 kg								
Total Kawat	0,16 kg								
FCAW - Hot									
Tebal Hot	6,35 mm								
Angle	30,00								
	0,58								
X	3,66 mm								
Alas	4,92 mm								
Luas	15,62 mm2								
Panjang las	683,00 mm								
Volume Bevel	10666,81 mm3								
Vol dua bevel	21333,62 mm3								
Total Volume	21333,62 mm3								
	21,33 cm3								
P = m/v									
m = ρ * v									
ρ	7,80 gr/cm3								
m	166,40 gr								
	0,17 kg								
eff	0,80								
total kawat	0,21 kg								
FCAW - Fill									
Tinggi	9,53 mm								
Angle	30,00								
	0,58								
X	5,50 mm								
Alas	10,41 mm								
Luas	33,07 mm2								
Panjang las	683,00 mm								
Volume Las	22584,86 mm3								
Vol dua area	45169,73 mm3								
Vol Gap	0 mm3								
Total Volume	45169,73 mm3								
	45,17 cm3								
P = m/v									
m = ρ * v									
ρ	7,80 gr/cm3								
m	352,32 gr								
	0,35 kg								
eff	0,80								
total kawat	0,44 kg								
FCAW - Cap									
Tinggi	12,70 mm								
Angle	30,00								
	0,58								
X	7,33 mm								
Alas	17,74 mm								
Luas	56,33 mm2								
Panjang las	683,00 mm								
Volume Las	38475,60 mm3								
Vol dua area	76951,19 mm3								
Vol Gap	0 mm3								
Total Volume	76951,19 mm3								
	76,95 cm3								
P = m/v									
m = ρ * v									
ρ	7,80 gr/cm3								
m	600,22 gr								
	0,60 kg								
eff	0,80								
total kawat	0,75 kg								

E.2 Perhitungan Konsumsi Elektroda Las kombinasi 2

SMAW									
Root Opening	4 mm								
tebal material	3,175 mm								
Panjang las-lasan	683 mm								
Volume daerah gap	8674,1 mm ³								
root face	1 mm								
tebal bevel	2,175 mm								
Angle	30								
	0,577								
X	1,25 mm								
Vol dua area bevel	3728,593 mm ³								
Total Area	12402,69 mm ³								
	12,40269 cm ³								
P = m/v									
m = ρ * v									
ρ	7.8 gr/cm ³								
m	96,74101 gr/cm ³								
Eff	0,096741 kg								
Total Kawat	0,12 kg								
FCAW - Hot									
Tebal Hot	6,35 mm								
Angle	30,00								
	0,58								
X	3,66 mm								
Alas	4,92 mm								
Luas	15,62 mm ²								
Panjang las	683,00 mm								
Volume Bevel	10666,81 mm ³								
Vol dua bevel	21333,62 mm ³								
Total Volume	21333,62 mm ³								
	21,33 cm ³								
P = m/v									
m = ρ * v									
ρ	7,80 gr/cm ³								
m	166,40 gr								
	0,17 kg								
eff	0,80								
total kawat	0,21 kg								
FCAW - Fill									
Tinggi	9,53 mm								
Angle	30,00								
	0,58								
X	5,50 mm								
Alas	10,41 mm								
Luas	33,07 mm ²								
Panjang las	683,00 mm								
Volume Las	22584,86 mm ³								
Vol dua area	45169,73 mm ³								
Vol Gap	0 mm ³								
Total Volume	45169,73 mm ³								
	45,17 cm ³								
P = m/v									
m = ρ * v									
ρ	7,80 gr/cm ³								
m	352,32 gr								
	0,35 kg								
eff	0,80								
total kawat	0,44 kg								
FCAW - Cap									
Tinggi	12,70 mm								
Angle	30,00								
	0,58								
X	7,33 mm								
Alas	17,74 mm								
Luas	56,33 mm ²								
Panjang las	683,00 mm								
Volume Las	38475,60 mm ³								
Vol dua area	76951,19 mm ³								
Vol Gap	0 mm ³								
Total Volume	76951,19 mm ³								
	76,95 cm ³								
P = m/v									
m = ρ * v									
ρ	7,80 gr/cm ³								
m	600,22 gr								
	0,60 kg								
eff	0,80								
total kawat	0,75 kg								

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian tugas akhir yang dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai pengelasan kombinasi sebagai berikut:

1. Dari hasil penelitian analisa resiko dengan menggunakan FMEA didapatkan hasil sebagai berikut:
 - Untuk cacat las porosity penyebab kegagalan yang diprioritaskan adalah udara yang lembab (embun pagi), ujung mata las yang kurang bersih, dan hembusan angin/udara dengan RPN masing-masing sebesar 384, 257, dan 256.
 - Untuk cacat las incomplete fusion/incomplete penetration penyebab kegagalan yang diprioritaskan adalah arus pengelasan yang rendah, teknik pengelasan yang kurang tepat, dan heat input yang kurang besar dengan RPN masing-masing sebesar 244/275, 231/260, dan 227/255.
 - Untuk cacat las slag inclusion penyebab kegagalan yang diprioritaskan adalah elektroda terkontaminasi dengan zat luar/lembab, kesehatan welder yang kurang baik, dan bobot kerja welder yang numpuk dengan RPN masing-masing sebesar 223, 183, dan 177.
2. Untuk faktor yang paling mempengaruhi dari tiap cacat las untuk pengelasan kombinasi ini adalah sebagai berikut:
 - Untuk cacat las porosity faktor yang paling mempengaruhi adalah faktor lingkungan yaitu sebesar 29,81%.
 - Untuk cacat las Incomplete fusion dan incomplete penetration faktor yang paling mempengaruhi adalah faktor metode yaitu sebesar 32,46%.
 - Untuk cacat las slag inclusion faktor yang paling mempengaruhi adalah faktor manusia yaitu sebesar 31,12%.

3. Didapatkan besar nilai ekonomis dari 2 pengelasan kombinasi untuk Pipa API 5L X52 adalah sebagai berikut:
 - Untuk pengelasan kombinasi 1 (GTAW dan FCAW) yaitu sebesar Rp 103.713,-
 - Untuk pengelasan kombinasi 2 (SMAW dan FCAW) yaitu sebesar Rp 98.402,-
4. Pengelasan kombinasi 1 (GTAW dan FCAW) lebih besar 5% dibandingkan dengan kombinasi 2 (SMAW dan FCAW) dalam hal biaya pengelasan untuk 1 joint pipa.

5.2 Saran

Topik penelitian tugas akhir ini dapat dikembangkan dan dilanjutkan lagi untuk penelitian berikutnya. Berikut adalah beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk dianalisis dalam penelitian berikutnya:

1. Perlu dilakukan Fault Tree Analysis untuk mengidentifikasi risiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan.
2. Perlu dilakukan analisa risiko dengan menggunakan metode lain.
3. Perlu adanya perhitungan nilai ekonomis yang lebih detail untuk mencapai hasil yang lebih optimal.

Daftar Pustaka

- API, *Spesification 5L Forth Second edition, Spesification for line pipe*, Washington : API Published Service, (2004).
- ASME B16.5a-1998 *Pipe Flange and Flanged Fittings*.
- Awali, J., Irawan, Y. S., dan Choiron, M. A. 2014. Malang: **Pengaruh Kuat Arus Pengelasan Dua Layer dengan Metode GTAW dan SMAW terhadap Kekuatan Tarik pada Plat ASTM A 36.**
- Onasis Indonesia.2015. Jakarta: *Inspection Dossier* Item No: 12347/N.
- Puspitasari, Nia Budi. 2014. Semarang: **Penggunaan FMEA Dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin) (Studi Kasus PT. ASAPUTEX JAYA TEGAL).**
- Republik Indonesia. 2000. **Undang-Undang No. 17 Tahun 2000 tentang Pajak Penghasilan**. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2000 No.127. Sekretariat Negara. Jakarta
- Rajenthirakumar, D., Karthik, T., dan Janarthanan, V. 2014. India: **Defect Reduction in Gas Tungsten Arc Welding Process Using Failure Mode Effect Analysis**. *Bulletin of Engineering Tome VII*.
- Sallman Fachmi, Hotniar Siringoringo.2005.Jakarta: **Analisis Penyebab Cacat :Las pada Produk Tangki Bahan Bakar Minyak.**
- Sasmito, Eko. 2009. Semarang: **Analisa Pengelasan Mild Steel (ST.42) Dengan Proses SMAW, FCAW, dan SAW Ditinjau dari Segi Kekuatan dan Nilai Ekonomis.**
- Sunaryo, Heri. 2008. **Teknik Pengelasan jilid 1**, Surabaya : Departemen Pendidikan Nasional.
- Wirjosumarto, Harsono dan Okumura, T. 2000. **Teknologi Pengelasan Logam**. Jakarta:Pradnya Paramita.

BIODATA PENULIS



Salomo Partogi Sihombing dilahirkan di Jakarta, 7 November 1994. Pendidikan SD, SMP dan SMA ditempuh di Jakarta dan lulus dari SMA Negeri 52 Jakarta pada tahun 2012. Penulis diterima di Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN Tulis di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS pada tahun 2012. Selama perkuliahan penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan serta kepanitiaan event institut seperti HIMATEKLA, BEM ITS, dan ITS Expo. Berbagai pelatihan dan seminar telah penulis ikuti baik menjadi panitia maupun menjadi peserta dalam rangka pengembangan diri ke arah yang lebih baik. Selama aktif di HIMATEKLA, penulis bergabung di Departemen Kesejahteraan Mahasiswa menjadi Staff divisi finansial pada periode 2013-2014 dan di Departemen Hubungan Luar menjadi Kepala Divisi eksternal pada periode 2014-2015. Sedangkan pada BEM ITS, penulis bergabung di Kementerian Komunikasi dan Informasi menjadi Assisten Dirjen Media Relasi pada periode 2014-2015 dan pada tahun berikutnya penulis bergabung di BSO Vivat Press menjadi manajer operasional dan pemasaran. Selain itu penulis ikut berkecimpung dalam menuangkan ide sebagai koordinator public relation pada event terbesar yang ada di ITS yaitu ITS Expo pada tahun 2014. Penulis memiliki minat di bidang manajemen sehingga penulis mengambil topik analisa resiko dan nilai ekonomis sebagai topik dalam pengerjaan tugas akhir.